



ارزیابی روش‌های تصحیح نگاشت چندکی داده‌های باز تحلیل بارش و دمای هوای AgMERRA و ERA5 در استان خراسان رضوی

سعیده کمالی^۱، نوذر قهرمان^{۲*}، محمد بنایان اول^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی روش‌های تصحیح نگاشت چندکی بر داده‌های باز تحلیل بارش و دمای هوای روزانه AgMERRA و ERA5 با استفاده از دو سنجه ارزیابی خطای RMSE و MAE و ضریب همبستگی پیرسون (r) در قالب نمودار تیلور است. به همین منظور از آمار روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش در مقیاس روزانه طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۰ در ۷ ایستگاه همدیدی استان خراسان رضوی استفاده شد. علاوه بر این از آزمون من-کندال و شیب سن جهت تعیین روند و بزرگی آن در داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد دمای کمینه و بیشینه دارای روندی افزایشی و معنادار بوده‌اند بطوریکه شیب افزایش روند دمای کمینه در هر سه مجموعه داده بیشتر از داده‌های دمای بیشینه می‌باشد. همچنین داده‌های بارش دارای روندی کاهشی اما این روند کاهشی در بیشتر ایستگاه‌ها معنادار نمی‌باشد. علاوه بر این سنجه‌های ارزیابی خطای دو مجموعه داده ERA5 و AgMERRA در مقابل داده‌های مشاهداتی نشان داد هر دو مجموعه داده تخمین خوبی از دمای بیشینه و کمینه زده‌اند بطوریکه شاخص‌های MAE و RMSE دارای مقادیر کم و خوبی می‌باشند. همبستگی داده‌های دمای بیشینه و کمینه نیز تغییراتی بین ۰/۷ تا ۰/۹ دارد بطوریکه بیشترین همبستگی‌ها مربوط به داده‌های ERA5 می‌باشد. اما در مورد کمیت بارش همبستگی آن خصوصاً برای داده‌های AgMERRA پایین می‌باشد. از بین روش‌های تصحیح نگاشت چندکی روش PTF:Scale، کارایی بهتری نسبت به سایر روش‌ها در تصحیح داده‌های بازتحلیل دارد بطوریکه در هر دو مجموعه داده باعث کاهش سنجه‌های RMSE و MAE شده است. ضریب همبستگی پیرسون در همه ایستگاه‌ها نسبت به قبل از تصحیح افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تصحیح اریبی، خراسان رضوی، نمودار تیلور، ERA5، AgMERRA

مقدمه

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 به‌ویژه کشورهای کمتر توسعه‌یافته، مناطق کوهستانی و بیابانی با آن مواجه هستند (Farzandi et al., 2019). امروزه توسعه مراکز

داده‌های هواشناسی حاصل از اندازه‌گیری در ایستگاه‌های همدیدی، زیربنای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم مختلف محیطی به‌ویژه آب و هواشناسی و مسائل مربوط به آن (ارزیابی مدل‌های آب‌وهوایی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی) هستند (Haylock., 2008).

*نویسنده مسئول: (nghahreman@ut.ac.ir)
^۳ استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲ دانشیار، گروه آبیاری و آبادانی دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

کمالی، س.، قهرمان، ن.، بنایان اول، م. ۱۴۰۴. ارزیابی روش‌های تصحیح نگاشت چندکی بر داده‌های باز تحلیل AgMERRA و ERA5 جهت شبیه‌سازی داده‌های بارش و دمای هوای روزانه در استان خراسان رضوی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۱): ۳-۲۱. DOI: 10.22125/agmj.2025.481865.1175

Kamali, S., Ghahreman, N., Banayan Aval, M. 2025. Evaluation of quantile mapping correction methods on AgMERRA and ERA5 reanalysis data to simulate daily precipitation and air temperature data in Khorasan-e- Razavi Province. Journal of Agricultural Meteorology, 13(1): 3-13. DOI: 10.22125/agmj.2025.481865.1175

دمای میانگین پایگاه‌های اقلیمی CFS-v2، MERRA-2 و ERA-5، با استفاده از داده‌های ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی در دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱، مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ۶ ناحیه معرف تنوع اقلیمی در کشور، با استفاده از شاخص‌های آماری داده‌های باز تحلیل مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد به‌طور کلی عملکرد پایگاه داده‌های ERA-5 در برآورد دمای میانگین، بیشتر از MERRA-2 و CFS-v2 است (Hoseeni et al., 2022). در تحقیقی، به ارزیابی مدل‌های پایگاه ERA5 در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی و پیش‌خشکسالی در حوزه آبریز قره‌چای استان مرکزی پرداختند. بدین منظور ابتدا داده‌های بارش و دمای ماهانه ایستگاه‌های همدیدی همدان، قم و شازند در سطح سه استان طی دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۸۷ جمع‌آوری گردید. سپس از دو مدل باز تحلیل‌شده ERA-Interim و ERA5 پایگاه ERA5 داده‌های دما و بارش با قدرت تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۷۹ استخراج شده است. از شاخص‌های آماری برای مقایسه داده‌های مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های ERA5 نسبت به ERA-Interim همخوانی بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد. یافته‌های مطالعه‌ی مقایسه‌ی داده‌های شبکه‌بندی شده ماهواره‌ای TRMM، PERSIANN-CDR و NCER-CFDR با داده‌های مشاهداتی در مناطق مرطوب چین مشخص ساخت که در مقیاس ماهانه داده‌های TRMM و در مقیاس روزانه دو داده دیگر بیشترین تطابق و عملکرد را دارند (Zhu et al., 2016). در مطالعه دیگری که برای بررسی داده‌های ده منبع رایگان داده‌های ماهواره‌ای و باز تحلیل‌شده در شش حوضه آبخیز در غرب آفریقا انجام شد، نتایج نشان داد که این داده‌ها به‌دقت میزان جریان آب را در این حوضه‌ها پیش‌بینی می‌کنند (Poméon et al., 2017). نتایج مطالعه انجام‌شده در مورد مدل‌های تشعشع خورشیدی بر اساس داده‌های دماهای کمینه، بیشینه و بارش حاصل از پایگاه‌های NASA، AgMERRA، AgCFSR و XAVIER تأیید کننده اعتبار بیشتر داده‌های پایگاه‌های AgMERRA و XAVIER نسبت به پایگاه‌های دیگر است (Bender and Sentelhas, 2018). در ادامه داده‌های این دو پایگاه معتبر برای شبیه‌سازی محصول سویا در مزارع برزیل با داده‌های مشاهداتی مورد

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 (GPCC)، مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ERA5) واحد تحقیقات اقلیم (CRU) در راستای مطالعه‌ی تغییر اقلیم شبکه‌ای از داده‌های اقلیمی را گسترش داده‌اند. این داده‌ها معمولاً از درون‌یابی مشاهدات پراکنده مکانی حاصل شده و از جهات مختلف حائز اهمیت هستند (Belda et al., 2014; Forsythe et al., 2015). یکی دیگر از منابع تولید داده، پایگاه داده AgMERRA می‌باشد این مجموعه داده حاصل تحلیل مجدد داده‌های ماهواره MERRA با داده‌های سنجش از دور و داده‌های اندازه‌گیری شده در روی زمین است (Data.GISS: AgMERRA Climate Forcing Dataset for Agricultural Modeling (nasa.gov)). در سال‌های اخیر، استفاده از محصولات باز تحلیل به‌عنوان داده‌های شبه مشاهداتی، به‌ویژه برای مطالعات اقلیمی و پیش‌بینی عددی وضع هوا، مورد توجه قرار گرفته‌اند. قبل از به‌کارگیری محصولات باز تحلیل در مطالعات، ارزیابی عملکرد آن‌ها در هر منطقه ضروری است (Javanshiri et al., 2023). پژوهشگران مختلفی به بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل پایگاه‌های داده نظیر مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/مرکز ملی تحقیقات جو (NCAR/NCEP)، ERA5، CRU و همچنین داده‌های AgMERRA در مناطق مختلف و برای متغیرهای مختلف اقلیمی پرداخته‌اند (Araghi et al., 2022). در تحقیقی به شناسایی مناسب‌ترین داده‌های دمای شبکه‌ای برای استفاده در مدل‌سازی رشد محصول پرداختند. در پژوهش دیگری، نه GTD جهانی برای تولید گندم دیم و آبی در شش منطقه در ایران با استفاده از مدل گیاهی (NWheat-CSM) مورد ارزیابی قرار گرفت. GTD شامل AgMERRA، AgERA5، AgCFSR، CPC، GLDAS، NCEP RII، PGF، POWER و S14FD بودند. نتایج آن‌ها نشان داد که AgCFSR، AgMERRA و PGF و AgERA5 بهترین عملکرد را داشتند. بنابراین، می‌توان داده‌های دما AgERA5 را می‌توان برای شبیه‌سازی‌های زراعی در منطقه مورد مطالعه در ایران توصیه کرد (Javanshiri et al., 2023). در مطالعه‌ای، داده‌های بازتحلیل

(2021) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از پایگاه داده AgMERRA برای تکمیل داده‌های ناقص در ایستگاه‌های همدیدی گلمکان و مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که مجموعه داده AgMERRA دقت خوبی در تخمین داده‌های گمشده بیشینه و کمینه دمای روزانه دشت مشهد دارد. Salehnia et al., (2017) جهت برآورد شاخص‌های هواشناسی خشکسالی از دو منبع بارندگی AgMERRA و مشاهداتی نشان دادند توافق خوبی بین بارندگی و شاخص‌های خشک‌سالی مبتنی بر AgMERRA و داده‌های مشاهداتی در سه ایستگاه مشهد، قوچان و گلمکان در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ وجود داشت. Ceglar et al., (2017) نشان دادند که مجموعه داده AgMERRA دارای بهترین کارایی در بازتاب داده‌های بارندگی مشاهداتی در مقایسه با مجموعه داده‌های ERA-Interim, Interim\Land و ERA-55 بود. Emad Mohammad and Darand (2021) در پژوهشی به ارزیابی دقت زمانی- مکانی برآورد بارش و دمای پایگاه داده ERA5 بر روی کشور عراق پرداختند. بدین منظور از داده‌های واکاوی شبکه‌ای ERA5 ساعتی با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه قوسی طی بازه زمانی ۱۹۷۹/۱/۱ الی ۲۰۱۹/۱۲/۳۱ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های نسخه ERA5 پایگاه داده ERA5 به‌خوبی تغییرات زمانی و مکانی دما و بارش را در عراق نشان می‌دهند. Liu et al., (2024) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص‌های آماری متعدد و معیارهای تشخیصی دقت داده‌های دما و بارش ERA5 را در مقیاس ماهانه طی ۷۰ سال برای شش قاره آسیا، آفریقا، اروپا، آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی و اقیانوسیه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد داده‌های ERA5 در بیشتر مناطق جهان همبستگی خوبی نشان می‌دهند، اما توزیع نابرابر ایستگاه‌ها منجر به کاهش همبستگی در مناطق با تراکم کم ایستگاه‌ها شده است. همچنین دقت داده‌های ERA5 در دو دوره (۱۹۷۹-۱۹۵۰ و ۲۰۱۹-۱۹۷۹) تفاوت‌هایی دارد؛ به طوری که عملکرد کلی داده‌های دما بهتر از داده‌های بارش است. Gomis-Cebolla et al., (2023) در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی محصولات بارش بازتحلیل نسل پنجم ERA5 و ERA5-Land در کشوری اسپانیا محصول بارش این مجموعه داده را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که این دو مجموعه داده‌توانایی

مقایسه قرار گرفت و مشخص شد پایگاه داده XAVIER دارای عملکرد بهتری نسبت به پایگاه AgMERRA است (Battisti et al., 2019). نتایج بررسی تغییرات پارامترهای دما و بارش میانگین در پاکستان با استفاده از داده‌های AgMERRA نشان داد که در دهه ۱۹۹۰ نسبت به دهه‌ی ۱۹۸۰ دمای میانگین نیم درجه افزایش و بارش میانگین ۱/۸ میلی‌متر در روز کاهش یافته است (Burhan and Athar, 2019). مطالعه انجام‌شده در مورد داده‌های بارش با استفاده از داده‌های AgMERRA, MSWEP, TMPA و PERRSAN- در حوزه آبخیز مانگ مشخص ساخت که داده‌های AgMERRA در تراکم‌های مختلف بارش نسبت به سایر داده‌های بازتحلیل‌شده تطابق بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد (Tang et al., 2019). برای پایش محصولات کشاورزی در ایتالیا میزان همبستگی داده‌های AgMERRA و ERA-Interim با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، خوب و قابل‌اعتماد ارزیابی شد (Toreti et al., 2019). Lashkari et al., (2016) داده‌های پایگاه AgMERRA و مشاهداتی دو ایستگاه گلمکان و مشهد را با هم مقایسه کردند و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد در مورد پارامتر بارش نیاز است تا اعتبار داده‌های پایگاه AgMERRA در ایستگاه‌های بیشتری ارزیابی شود و از دقت کافی برخوردار نیست. بر اساس همبستگی بالا بین داده‌های پایگاه AgMERRA و مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز کشف‌رود در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۷ شاخص‌های مختلف خشکسالی با استفاده از هر دو نوع داده مشاهداتی و باز تحلیل محاسبه شد. نتایج گویای آن است که بین شاخص‌های خشکسالی به‌دست‌آمده از داده‌های AgMERRA نسبت به ایستگاه‌های زمینی همبستگی بیشتری وجود دارد (Salehnia et al., 2017). امکان استفاده از پایگاه AgMERRA از طریق مقایسه آن‌ها با داده‌های دیدبانی با محاسبه شاخص‌های نکویی برآزش در سه ایستگاه قندهار، کابل و هرات در کشور افغانستان طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۷ بررسی و تأیید شد (Razavi et al., 2018). روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش در حوضه‌ی آبریز بختگان با استفاده از داده‌های مشاهداتی و AgMERRA بررسی شد و اعتبار داده‌های این پایگاه در رخدادهای حدی بارش در این حوضه تأیید شد (Lashkari et al., 2016). Jowkar et al.,

اینکه این مناطق بارش کمتری دریافت می‌کند. در سراسر تاریخ، بخش‌های گوناگون جهان از خشکسالی و قحطی پس از آن رنج برده‌اند که به خسارات جانی و مالی منتهی می‌شود (UNEP, 2006). پژوهش‌های زیادی در ایران و جهان در زمینه تغییرات وقایع حدی بارش و دما در سال‌های اخیر انجام گرفته است که عمدتاً در رابطه با بررسی روند و برآورد آن‌ها تمرکز شده است. به طور مثال (Zand et al., 2023) به بررسی ۲۶ رخدادهای فرین دما و بارش نه ایستگاه همدیدی استان لرستان با استفاده از RclimDex طی دوره ۲۸ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۰) پرداختند. نتایج بررسی روند نشان داد که روند شاخص‌های گرم با افزایش و روند شاخص‌های سرد، با کاهش همراهند و نتایج بررسی فراوانی نیز نشان داد که مجموع بارش این استان با کاهش روبرو است اما در مقابل وقوع بارش‌های فرین طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ روند افزایشی داشته که این می‌تواند بیانگر افزایش بارش‌های شدید و کوتاه مدت و در مقابل کوتاه‌تر شدن فصل بارش منطقه است. مطالعه بررسی تغییرات زمانی- مکانی ۱۴ شاخص حدی بارش، ۸ ایستگاه در ناحیه شمال و غرب ایران توسط Nassaji Zavareh and Ghermezcheshmeh, (2023) انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های بارش در یک ناحیه اقلیمی دارای عدم پیوستگی مکانی بوده و رفتار بارش‌ها به سمت حدی شدن پیش می‌رود. (Alavinia and Zarei, 2022) به تحلیل روند تغییر اقلیم با استفاده از ۱۰ شاخص حدی دما و بارش در ۴ ایستگاه جنوب شرقی ایران پرداختند که نتایج نشان‌دهنده افزایش شاخص‌های دما و کاهش بودن بارش می‌باشند و به دلیل نبود روندی معنی دار می‌توان گفت تغییرات و نوسانات رخ داده در مناطق مطالعاتی ارتباطی با تغییر اقلیم ندارد. Wang et al., (2021) تغییرات زمانی ۱۵ شاخص حدی دما و ۱۱ شاخص حدی بارش را بر اساس مشاهدات روزانه ۱۶۹۰ تا ۲۰۱۶ را برای ۷۹۴ ایستگاه هواشناسی در چین بررسی نموده‌اند. تعداد روزهای مرطوب متوالی ۰/۰۹ روز در دهه کاهش یافت و شاخص شدت بارش روزانه ۰/۰۹ میلی‌متر در دهه افزایش نشان می‌دهد. وقایع بارش حدی به طور معنی‌دار با افزایش عرض جغرافیایی کاهش و با طول جغرافیایی افزایش می‌یابد. مطالعات بی‌شمار دیگری نیز در این زمینه انجام شده است اما مسئله‌ای که در برنامه‌ریزی‌ها اهمیت بالاتری دارد؛

خوبی در بازتولید الگوهای مکانی و روندهای زمانی مشاهداتی دارند و عملکرد ERA5 و ERA5-Land با وجود تفاوت در وضوح مکانی، بسیار مشابه بود. از آنجایی که دما و بارش نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان دارند و دمای بیشنیه و کمینه از ورودی‌های کلیدی در مدل‌های شبیه‌سازی محصول هستند، فقدان این داده‌های مشاهداتی مناسب، چالشی در پژوهش‌های شبیه‌سازی زراعی است. مطالعات اخیر از داده‌های اقلیمی شبکه بندی شده به‌عنوان جایگزین داده‌های مشاهداتی در مدل‌سازی سامانه‌های کشاورزی استفاده کرده‌اند. همچنین پایگاه داده‌های بازتحلیل می‌توانند در مطالعات تغییر اقلیم کمک شایانی باشند. شناخت کارایی و محدودیت‌هایشان در نواحی مختلف، به‌ویژه در مناطق با تراکم ایستگاهی کم و دوره‌های داری نقص آماری، امری ضروری است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی این موضوع است که کدام پایگاه داده باز تحلیلی AgMERRA و ERA-5 در مناطق مختلف استان خراسان رضوی بهترین دقت را بر اساس شاخص‌های آماری دارد؟ همچنین اعمال روش‌های مختلف نگاشت چندکی چه تأثیری در تصحیح این دو مجموعه داده داشته است. اقلیم و گرمایش زمین چالش‌های فراوانی را در قرن اخیر ایجاد کرده است به این صورت که در سراسر کره زمین با تغییر در الگوهای بارشی و دمایی، اثرات آن خسارات بالقوه‌ای بر تمام زمینه‌های حیاتی بشر وارد می‌کند. از آنجاکه برنامه مدیریت جامعه در زمینه‌های شرب، صنعت، کشاورزی طبق شرایط مساعد و بهنجار تنظیم شده است؛ در زمان وقوع تغییر اقلیم خسارات جبران‌ناپذیری بر آنها وارد می‌شود. یکی از مخرب‌ترین اثرات این پدیده، شکل‌گیری وقایع فرین می‌باشد که تغییر در شدت و تکرار آنها نقش اساسی در تشدید تخریب دارد. این وقایع حدی به صورت وقایع نادری تعریف می‌شوند که در بالا و پایین آستانه‌های مقادیر متغیرهای ویژه قرار می‌گیرند. حتی یک تغییر کوچک نسبی در میانگین یک متغیر ممکن است به تغییرات قابل توجه در فراوانی حداکثرها منجر شود (Baldi, 2008). این وقایع خواه طبیعی و یا ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند موجب تغییر محیطی، بدون ذکر اثرات مخرب بر زندگی مردم شود. تغییر اقلیم به طور بالقوه موجب افزایش احتمال خشکسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. هم‌اکنون شواهدی وجود دارد مبنی بر

تحلیل اثرگذاری شاخص‌های دورپیوند و شاخص‌های حدی بر رخداد سیل پرداختند. این پژوهش در منطقه خشک سیستان و بلوچستان که دارای بارش‌های نامنظم و سیل و خشکسالی‌های شدید بوده انجام شده و نتایج نشان داد که ۳۵ درصد تغییرات سیل را می‌توان با شاخص‌های دورپیوند و ۵۰ درصد از تغییرات سیل را می‌توان با شاخص‌های حدی تعیین کرد. در این پژوهش معتقدند صرفاً فقط این موارد بررسی شده کافی نیست. در بررسی سیلاب‌ها شرایط طبیعی منطقه، فصل وقوع رویداد سیل، تغییر کاربری‌های ایجاد شده در مسیر رودخانه نیز باید مورد توجه قرار گیرند. (Shirmohammadi et al., 2012) ارتباط شاخص دورپیوند و نمایه‌های حدی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که شاخص انسو ارتباط معنی داری با شاخص‌های حدی دارد. از دیگر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به پژوهش‌های (Tramblay et al., 2013) و (Valverde and Marengo, 2014) اشاره کرد. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد بیشتر مطالعات به وجود ارتباط بین شاخص‌های دورپیوند و وقایع هواشناسی اشاره کردند و صرفاً مدلی را برای پیشگویی آنها ارائه نکرده‌اند. در این پژوهش ضمن بررسی این ارتباطات، امکان پیشگویی وقایع حدی مدت بارش با یکی از مدل‌های پیشرفته رگرسیونی که قادر به شناسایی روابط غیرخطی حاکم بر داده‌ها است بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با مساحت حدود ۲۴۸۰۰۰ کیلومترمربع بین مدار ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض جغرافیایی در شمال شرق ایران قرار دارد (شکل ۱). خراسان رضوی دارای تنوع بالای آب و هوایی است (Bannayan et al., 2010). این استان ۷ درصد کل مساحت ایران را در بر می‌گیرد. ۴۹/۲ درصد سطح استان را

پیش‌گویی این وقایع است. اطلاع از یک یا چند گام جلوتر وقایع حدی، کمک شایانی به آماده‌سازی جامعه در مقابل خساراتی که ممکن است در آینده به وجود آید، می‌کند. در دهه‌های اخیر، پدیده‌های دورپیوند به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های پدیده‌های هیدرولوژیکی بر پایه روش‌های تجربی و آماری در کنار مدل‌های عددی پیشنهاد شده و به عنوان ابزاری مفید در مدیریت بهینه منابع آب به کار گرفته شده‌اند. برخی محققین برای تعیین رابطه بین پدیده‌های دورپیوند، از همبستگی همزمان بارندگی با شاخص‌های اقلیمی که نماد نوسانات اقلیمی است، استفاده نموده‌اند. برخی از همبستگی تأخیری به جای همزمان استفاده نموده‌اند و نشان داده‌اند که اثرات پدیده‌های اقلیمی در بعضی مناطق با تأخیر چند ماه و یا حتی فصلی و سالانه حادث می‌شود. مطالعات متعددی در این زمینه در بخش‌های مختلف ایران و جهان صورت گرفته است، که از آن جمله می‌توان به برخی از موارد ذیل اشاره نمود. (Olaya-Arenas et al., 2020) به بررسی ارتباط روند بلندمدت بارش و دما با شاخص‌های اتمسفری جهانی شامل ENSO، NAO¹، TNA² و AMO³ در کوه‌های لوکیو⁴ پرداختند و نتیجه گرفتند بارش و دما ارتباط قوی‌تری با تغییرات در آتلانتیک گرمسیری نسبت به تغییرات در آتلانتیک شمالی یا آرام شرقی دارد. (Fatehi Marj et al., 2018) تأثیر سیگنال‌های اقلیمی NINO3.4، SOI⁵ و NAO را در حوزه دریاچه ارومیه بررسی و شاهد تأثیر SOI، NAO بر بارش بودند. (Moetamedi et al., 2007) ارتباط انسو با نوسانات بارندگی و دما در استان خراسان را بررسی کردند. (Hejazizadeh et al., 2013) ارتباط بارش با سیگنال‌های اقلیمی ENSO، NAO، SOI و AO⁶ را در ناحیه ایران مرکزی بررسی و شاهد تأثیر معنی‌دار انسو بر بارش منطقه بودند. مطالعاتی نیز در زمینه پیش‌بینی و مدلسازی وقایع حدی انجام شده است. (Mahmoodabadi et al., 2018) به منظور آمادگی برای کاهش خسارات وارده از وقایع حدی و بهره‌وری بیشتر از حجم رواناب تولید شده بر پیش‌بینی وقوع بارش و

⁵ Southern Oscillation Index

⁶ Antarctic Oscillation

¹ North Atlantic Oscillation

² Tropical Northern Atlantic Index

³ Atlantic Multi-decadal Oscillation

⁴ Luquillo Mountains

داده‌های اندازه‌گیری شده در روی زمین است. پس از تعیین شبکه فرارگیری هر ایستگاه همدیدی، داده‌های مربوط به آن شبکه برای دوره مورد مطالعه در هر ایستگاه با استفاده از نرم‌افزار R به‌وسیله بسته آماری (ncdf4) از داده‌های AgMERRA استخراج گردید. سپس داده‌های استخراج‌شده با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های همدیدی مورد مقایسه قرار گرفتند.

۲- داده‌های مشاهداتی، شامل بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه هستند که مربوط به ایستگاه‌های مشهد، تربت‌حیدریه، تربت‌جام، کاشمر، گناباد نیشابور و سبزوار هستند.

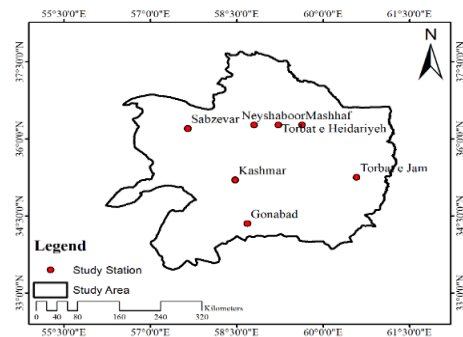
۳- داده‌های بارش، دمای بیشینه و کمینه روزانه باز تحلیل ERA-5 با قدرت تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ از سایت Copernicus Climate Change Service's (C3S) Climate Data Store (CDS) به آدرس <https://climate.copernicus.eu/climate-data-store> دریافت شد.

لازم به ذکر است به دلیل اینکه دوره آماری در دسترس مجموعه داده‌های باز تحلیل AgMERRA بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ است، دوره آماری مشترک دو مجموعه داده باز تحلیل AgMERRA و ERA5 در هفت ایستگاه مطالعاتی دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۰ در نظر گرفته شد.

روش نگاشت چندکی (QMap)

روش نگاشت چندکی از دسته روش‌های تصحیح اریبی^۲ داده‌های بزرگ مقیاس است که توزیع احتمال آنها را بر مبنای اطلاعات مشاهده‌ای ایستگاه‌ها اصلاح می‌کند. هدف از این روش، در واقع، نزدیک نمودن توزیع احتمال داده‌های بزرگ مقیاس به مشاهداتی است. برای این منظور، ابتدا تابع توزیع تجمعی (CDF) داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های بزرگ مقیاس ERA5 و AgMERRA در سلول‌های واجد ایستگاه زمینی تعیین می‌شود. سپس، به کمک یک رابطه مناسب بین چندک‌های داده‌های مشاهداتی مشاهده‌ای و داده‌های ERA5 و AgMERRA می‌توان داده‌های شبکه‌ای بارش و دمای بیشینه و کمینه را اصلاح نمود (Bazrafshan

مناطق کوهستانی و ۵۰/۸ درصد آن را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. این استان دارای ۲۸ شهرستان، ۷۳ شهر و ۷۰ بخش است. پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی بر اساس شاخص دومارتن نشان می‌دهد که ۶ طبقه از ۸ طبقه‌ی این شاخص در استان وجود دارد. حدود ۷۰ درصد از مساحت استان در گستره اقلیمی خشک بیابانی سرد و نیمه‌خشک بیابانی قرار گرفته است. حدود ۲۰ درصد از مساحت استان دارای آب‌وهوای خشک بیابانی معتدل می‌باشد. طبقات آب و هوایی فراخشک سرد، فراخشک معتدل و نیمه‌خشک معتدل کمتر از ۱۰ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند (Zandi, 2017).



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی در محدوده استان خراسان رضوی

Figure 1- The distribution of study stations in Khorasan Razavi province

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل سه مجموعه داده روزانه در هفت ایستگاه همدیدی استان خراسان رضوی شامل ایستگاه‌های مشهد، تربت‌حیدریه، تربت‌جام، کاشمر، گناباد نیشابور و سبزوار در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۰ به شرح زیر می‌باشند:

۱- داده‌های بازتحلیل AgMERRA قدرت تفکیک $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ در قالب NetCDF از سایت <http://data.giss.nasa.gov/impacts/agmipcf/AgMERR> (A) دانلود شدند. این مجموعه داده حاصل تحلیل مجدد داده‌های ماهواره MERRA با داده‌های سنجهش از دور و

¹ Quantile mapping

² Bias correction

نسخه 4-1.0 (۲۰۲۲) در محیط نرم‌افزار R استفاده شد (Package qmap, 2022).

(et al, 2023). روابط چندکی مورد بررسی در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. در این مطالعه، برای اجرای روش‌های مختلف نگاشت چندکی از بسته نرم‌افزاری qmap

جدول ۱- روش‌های مختلف نگاشت چندکی (Bazrafshan et al, 2023)

Table1- Different methods of quantile mapping (Bazrafshan et al, 2023)

Calculation form	Method
$p_o = F_o^{-1}(F_m(p_m))$ $p_o = bp_m^c$ $p_o = (a + b.p_m)$ $p_o = (a + b.p_m)(1 - \exp(-p_m/\tau))$ $p_o = b.p_m$ $p_o = b(p_m - X_0)^c$ $p_o = (a + b.p_m)(1 - \exp(-(p_m - X_0)/\tau))$	(DIST) distribution derived transformations (Power) (Liner) (expasympt) (Scale) (power.x0) (expasympt. x0)
Non-parametric quantile mapping using empirical quantiles Non-parametric quantile mapping using robust empirical quantiles Quantile mapping using a smoothing spline	parametric transformations (PTF) QUANT RQUANT SSPLINE

* a, b, c, τ پارامترهای مدل‌ها و X_0 مقدار آستانه است که توسط مدل تعیین می‌شود (Documentation for package 'qmap' version 1.0-)

(4)

که $t_{\frac{\alpha}{2}, (n-2)}$ مقدار آماره t-student در سطح معنی‌داری $\frac{\alpha}{2}$ و درجه آزادی $n-2$ (n طول دوره آماری) است. مقدار خطای به‌دست آمده از سنج‌های سنج‌های آماری میانگین درصد خطا (MAE)، جذر انحراف میانگین مربعات خطا از میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده (RMSE) به واحد متغیر مورد اندازه‌گیری بیان می‌شود. سنج RMSE اطلاعاتی را درباره کارایی کوتاه‌مدت مدل از طریق مقایسه جمله به جمله مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده می‌دهد. هرچه مقدار RMSE کمتر باشد کارایی مدل بالاتر است. این سنج هیچ‌گونه قضاوتی در مورد بیش‌برآورد یا کم‌برآورد مدل ارائه نمی‌کند سنج MAE مقدار میانگین مطلق خطاها را بدون در نظر گرفتن علامت خطاها محاسبه می‌کند و هر چه مقدار آن کمتر باشد، بهتر است (Badescu, 2008).

آزمون روند Mann- Kendall و شیب سن

در این مطالعه، آزمون روند Mann-Kendall که به‌عنوان آزمون MK شناخته می‌شود، برای شناسایی روندهای معنادار در سری‌های زمانی داده‌های دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش مورد استفاده قرار گرفت (Mann, 1945; Kendall, 1975; Gilbert, 1987). آزمون MK یک آزمون نا پارامتریک

سنج‌های ارزیابی داده‌ها

برای ارزیابی دقت داده‌ها و همچنین تعیین میزان کارایی روش‌های مختلف نگاشت چندکی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر از سنج‌های آماری متعددی استفاده می‌شود. رایج‌ترین سنج‌های آماری میانگین مطلق خطا (MAE)^۱، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)^۲ و ضریب همبستگی پیرسون (r) هستند که طبق معادله‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |o_i - m_i| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - m_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$r = S_{x,y} / S_x S_y \quad (3)$$

که در آن o_i مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در زمان i ، m_i مقدار متغیر برآورد شده از مدل در زمان i ، n طول سری زمانی، S_{xy} ، S_x و S_y به ترتیب کواریانس بین x و y، انحراف معیار x و انحراف معیار y می‌باشند. ضریب همبستگی پیرسون (r) در صورتی معنی‌دار است که در شرط معادله ۴ صدق کند.

$$\left| \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{\frac{\alpha}{2}, (n-2)} \quad (4)$$

² Root Mean Square Error

¹ Mean Absolute Error

دارد. اگر $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ رد می‌شود و H_a پذیرفته می‌شود، بنابراین، به این معنی است که روند در سطح معناداری انتخاب شده (a) معنادار است. بر اساس آزمون دو دنباله، مقادیر Z برای سطوح معناداری 5% و 10% به ترتیب $\pm 1/96$ و $\pm 1/64$ هستند. به عنوان مثال، اگر مقدار Z بین محدوده $\pm 1/96$ قرار گیرد، H_0 پذیرفته می‌شود. باین حال، اگر $|Z| > 1.96$ سپس H_0 رد می‌شود، و بنابراین نشان می‌دهد که روند در سطح $\alpha = 0.05$ معنادار است. علامت مثبت Z نشان دهنده روند صعودی و علامت منفی نشان دهنده روند نزولی است.

آزمون شیب سن

این آزمون را ابتدا Theil (1950) ارائه کرد و سپس Sen (1968) بسط و گسترش داد. در این آزمون شیب میانه برای سری زمانی محاسبه شد و معنی داری شیب در سطوح مختلف اطمینان به دست آمد. شیب میانه بین داده‌ها با استفاده از معادله 10 محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s}, 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

که x_t و x_s به ترتیب داده در زمان‌های $t > s$ و $N = n \lfloor (n+1)/2 \rfloor$ هستند. مقدار مثبت شیب سن بیانگر روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی است.

نمودار تیلور

نمودار تیلور ارزیابی نتایج مختلف را به طور هم‌زمان با استفاده از سه معیار مختلف ارزیابی عملکرد، از جمله ضریب همبستگی (r)، انحراف استاندارد نرمال (σ) (معادله 11) و خطای جذر انحراف میانگین مربعات خطای متمرکز (CRMSD) (معادله 12) انجام می‌دهد.

$$\sigma_* = \frac{\sigma^m}{\sigma^o} \quad (11)$$

$$\text{CRMSD} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(x_i^o - \bar{x}_i^o) - (x_i^m - \bar{x}_i^m)]^2 \right)^{0.5} \quad (12)$$

σ^m و σ^o به ترتیب انحراف معیار داده‌های مدل و داده‌های مشاهداتی، X^m و X^o مقادیر مشاهداتی و برآورد شده توسط مدل و N تعداد داده‌ها است. r مقداری بدون بعد است که بین +1 و -1 متغیر است. با قوی‌تر شدن همبستگی بین X^o و X^m مقدار r به مقادیر مرزی خود نزدیک‌تر می‌شود (Taylor, 1990). σ_* نیز بدون بعد و در حالت ایده‌آل مقدار آن برابر با

است که نیازی به خطی بودن داده‌های سری زمانی و توزیع نرمال آن ندارد. علاوه بر این، آزمون می‌تواند وجود روندهای یکنواخت صعودی یا نزولی را در یک سری زمانی تشخیص دهد. (Hirsch et al, 1982) آماره MK (S) را به صورت معادله 5 و 6 تعریف کرد.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

که در آن x_j و x_i به ترتیب عبارت‌های j و i ام در سری زمانی n می‌باشند. معادله (5 و 6) اختلاف بین مشاهدات را محاسبه می‌کند. بنابراین، یک S مثبت، نشان می‌دهد که داده‌های اخیر بزرگ‌تر از داده‌های قبلی است و روند صعودی دارد، در حالی که S منفی برعکس را نشان می‌دهد. برای $n \geq 10$ ، میانگین E(S) و واریانس Var(S) طبق معادله 7 و 8 محاسبه می‌شوند.

$$E(S) = 0 \quad (7)$$

که در آن میانگین 0 است، زیرا (Kendall 1975) قبلاً ثابت کرده است که S بدون علامت و معمولاً برای سری‌های زمانی $n \geq 10$ توزیع می‌شود.

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^1 t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \quad (8)$$

که در آن t برابر است با تعداد گره‌های ایجاد شده در سری زمانی و t_i بیانگر تعداد داده‌های برابر در t امین گروه است. مقدار آماره (Z) مطابق معادله 9 محاسبه می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

که در آن Z برای ارزیابی روند داده‌ها با آزمون فرضیه صفر (H_0) استفاده می‌شود. در آزمون روند من-کندال، H_0 فرض می‌کند که هیچ روند معناداری در داده‌ها وجود ندارد، و فرضیه جایگزین (H_a) دلالت بر وجود یک روند در سری زمانی

مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده است. این معیار بزرگی خطا را نشان می‌دهد و هرچه مقدار آن کم‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر تخمین مدل است.

بررسی سنجه‌های خطا و ضریب همبستگی

به منظور بررسی کیفیت داده‌های بارش و بیشینه و کمینه دمای هوا دو مجموعه داده باز تحلیل ERA5 و AgMERRA در مقیاس روزانه در هفت ایستگاه همدیدی در استان خراسان رضوی از دو سنجه خطای RMSE و MAE و همچنین ضریب همبستگی پیرسون طی دوره آماری موردبررسی (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شد (جدول ۲).

+۱ است که نشان از یکسان بودن مقادیر انحراف معیار مجموعه داده‌های مشاهده‌شده و برآورد شده دارد. هر چه مقدار r به +۱ نزدیک‌تر باشد مدل ارزیابی‌شده عملکرد بهتری دارد و در نهایت به‌عنوان نمایشی از بهبود عملکرد مدل CRMSD کاهش می‌یابد (Jolliff et al., 2009). هر چه CRMSD پایین‌تر باشد، عملکرد مدل بهتر است و در یک مورد ایده آل برابر با صفر است. ایده اصلی پشت نمودارهای تیلور ارائه یک فرض بصری است که مقایسه این سه اندازه‌گیری‌های کمی را تسهیل می‌کند. در معادلات فوق F داده‌های شبیه‌سازی‌شده، O داده‌های مشاهداتی، \bar{O} و \bar{F} به ترتیب میانگین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی و N تعداد مشاهدات است. RMSE مقدار بیانگر متوسط مربع خطا بین

جدول ۲-سنجه‌های ارزیابی خطا مجموعه داده‌های ERA5 و AgMERRA در مقابل داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مطالعاتی

Table 2-Measures for evaluating the error between the observational data and the AgMERRA and ERA5 reanalysis data sets in the study stations.

Station	Parameter	ERA5			AgMERRA		
		R	RMSE	MAE	R	RMSE	MAE
Gonabad	Maximum Temperature	0.95	3.67	2.59	0.88	5.33	3.9
	Minimum Temperature	0.74	6.73	4.04	0.67	7.27	5.15
	Precipitation	0.64	5.22	1.9	0.16	5.8	2.31
Sabzevar	Maximum Temperature	0.99	3.81	3.31	0.91	6.11	4.81
	Minimum Temperature	0.84	4.89	3.9	0.87	6.27	5.68
	Precipitation	0.34	4.23	2.28	0.26	6.1	3.31
Mashhad	Maximum Temperature	0.98	4.77	3.11	0.98	5.63	4.11
	Minimum Temperature	0.92	7.09	3.96	0.59	7.42	4.85
	Precipitation	0.54	5.43	2.14	0.1	5.99	2.42
Torbat e Heidariyeh	Maximum Temperature	0.87	4.27	2.89	0.78	5.93	3.81
	Minimum Temperature	0.74	7.22	4.27	0.7	6.89	4.89
	Precipitation	0.44	4.81	1.59	0.24	6.36	3.1
Torbat e jam	Maximum Temperature	0.88	3.59	1.95	0.89	4.97	3.91
	Minimum Temperature	0.97	6.5	5.01	0.79	8.05	5.36
	Precipitation	0.69	5.05	2.47	0.32	4.9	1.96
Neyshabor	Maximum Temperature	0.97	4.16	2.9	0.89	5.47	3.78
	Minimum Temperature	0.94	5.96	3.84	0.85	7.76	4.98
	Precipitation	0.66	4.92	2.1	0.2	6.32	2.29
Kashmar	Maximum Temperature	0.99	3.7	2.62	0.77	4.93	4.11
	Minimum Temperature	0.88	7.13	3.94	0.89	6.97	4.95
	Precipitation	0.66	6.02	3.05	0.14	6.2	1.93

دما می‌باشد که مقادیر همبستگی دمای بیشینه معمولاً بیشتر از همبستگی داده‌های دمای کمینه می‌باشد و کمترین همبستگی‌ها مربوط به بارش می‌باشد. سنجه‌های خطای RMSE و MAE حاصل از دو مجموعه داده ERA5 و AgMERRA

مطابق جدول ۲ همان‌طور که مشاهده می‌شود در ایستگاه‌های مطالعاتی سنجه‌های خطا دارای مقادیر نزدیک به هم هستند. در این سه کمیت مورد بررسی بیشترین همبستگی این دو پایگاه داده با داده‌های مشاهداتی مربوط به

بیشتر از دمای بیشینه می‌باشد. روند بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان دهنده این است آماره من کندال در همه ایستگاه‌ها دارای مقداری منفی و کاهش می‌باشد که این روند کاهش در دو ایستگاه گناباد و کاشمر معنادار می‌باشد. بررسی روند بارش مشاهده‌ای نشان دهنده این است در هر هفت ایستگاه آماری من کندال دارای مقادیری منفی می‌باشد. بزرگی شیب روند این داده‌ها نیز نشان دهنده این است در هر هفت ایستگاه بارش دارای مقادیر منفی و روند کاهش هستند. اما بررسی آماره Pvalue نشان دهنده این است که این روند کاهش بارش در همه ایستگاه‌ها بجز تربت جام و نیشابور معنادار می‌باشد. روند دمای بیشینه مشاهداتی نشان دهنده این است در هر هفت ایستگاه مطالعاتی داده‌ها دارای روندی مثبت و معنادار در سطح یک درصد می‌باشند. بطوریکه بیشترین افزایش روند مربوط به ایستگاه‌های گناباد، نیشابور و تربت حیدریه می‌باشد. دمای کمینه نیز در هر هفت ایستگاه دارای آماره من کندال مثبت می‌باشد که این روند افزایشی طبق آماره Pvalue در همه ایستگاه‌ها معنادار می‌باشد بطوریکه بیشترین شیب افزایش روند مربوط به ایستگاه تربت حیدریه و گناباد می‌باشد. نتایج روند داده‌های بازتحلیل ERA5 نشان‌دهنده آن است دمای کمینه در همه ایستگاه‌های مطالعاتی دارای آماره من- کندال و شیب سن مثبت است که بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه مشهد، گناباد و کاشمر می‌باشد که طبق آماره Pvalue نتایج در سطح ۰/۰۵ معنادار می‌باشند. دمای بیشینه نیز در همه ایستگاه‌ها دارای آماره من- کندال و شیب سن مثبت می‌باشد که بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه‌های تربت جام، مشهد و کاشمر و گناباد می‌باشد. نتایج نیز در سطح ۰/۰۵ در همه ایستگاه‌ها بجز تربت حیدریه با $pvalue=0.07$ معنادار می‌باشند. در مورد کمیت بارش، آماره من- کندال و شیب سن در همه ایستگاه‌ها دارای روندی کاهش می‌باشد بطوریکه این روند کاهش در هیچ یک از ایستگاه‌ها معنادار نمی‌باشد. با بررسی نتایج حاصل از تحلیل روند دمای کمینه، بیشینه و بارش در ایستگاه‌های استان خراسان رضوی با استفاده از سه مجموعه داده مشاهداتی، AgMERRA و ERA5 می‌توان گفت دمای کمینه و بیشینه دارای روندی افزایشی و معنادار

ERA5 در مقابل داده‌های مشاهداتی نشان داد این سنجه‌ها در داده‌های ERA5 مقادیر کمتری نسبت به AgMERRA دارند. همچنین با توجه به نتایج حاصل از جدول می‌توان گفت در مجموع ERA5 مقادیر سنجه‌های خطای کمتری نسبت به داده‌های AgMERRA در مقابل داده‌های مشاهداتی دارند و ضریب همبستگی داده‌های ERA5 بیشتر از داده‌های AgMERRA در کل ایستگاه‌های مطالعاتی است. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج محققان دیگر از جمله (Araghi et al., 2022; Javanshiri et al., 2023; Hoseeni et al., 2022; Burhan and Athar, 2019; Emad (Mohammad, and Darand, 2021; Jowkar et al., 2021 که در تحقیقاتشان اشاره کردند داده‌های ERA5 نسبت به داده‌های AgMERRA عملکرد بهتری دارند، تطابق دارد. همچنین مجموعه داده شبیه‌سازی شده دمای بیشینه و کمینه نسبت به بارش عملکرد بهتری دارند، تطابق بالایی دارد.

نتایج آزمون من-کندال و شیب سن

جهت بررسی تغییرات روند دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش سه مجموعه داده مشاهداتی، AgMERRA و ERA5 از آزمون من-کندال و شیب سن استفاده شد (جدول ۳). نتایج بررسی روند مجموعه داده‌های دمای بیشینه، کمینه و بارش AgMERRA در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد آماره آزمون من-کندال دمای بیشینه در هر هفت ایستگاه دارای مقادیری مثبت می‌باشد و مقدار آماره Pvalue نیز در همه ایستگاه‌ها صفر می‌باشد بنابراین روند افزایش این داده‌ها در سطح ۰/۰۱ درصد معنادار می‌باشد آماره شیب سن در همه ایستگاه‌ها دارای مقادیری مثبت که بیشترین مقدار آن مربوط به دو ایستگاه تربت حیدریه و مشهد می‌باشد. آماره آزمون من کندال و شیب سن دمای کمینه نیز گویای آن است که در هر هفت ایستگاه مطالعاتی داده‌ها دارای روندی افزایشی در طی دوره آماری مورد بررسی می‌باشند که این افزایش روند در همه ایستگاه‌ها طبق نتایج آماره Pvalue در سطح ۰/۰۱ معنادار می‌باشد. بزرگی شیب روند طبق آماره شیب سن نشان دهنده این است که بیشترین مقدار آن در ایستگاه مشهد، کاشمر و تربت حیدریه ثبت شده است. علاوه بر این در همه ایستگاه‌های مطالعاتی مقدار آماره شیب سن دمای کمینه

بوده‌اند بطوریکه شیب افزایش روند دمای کمینه در هر سه مجموعه داده بیشتر از داده‌های دمای بیشینه می‌باشد. همچنین داده‌های بارش دارای روندی کاهشی اما این روند کاهشی در بیشتر ایستگاه‌ها معنادار نمی‌باشد.

جدول ۳- نتایج آزمون روند من- کندال و شیب سن داده‌های مشاهداتی، ERA5 و AgMERRA در ایستگاه‌های مطالعاتی

Table 3 - Results of the Man-Kendall trend test and Sen's slope of observed data, ERA5, and AgMERRA reanalysis data at study stations

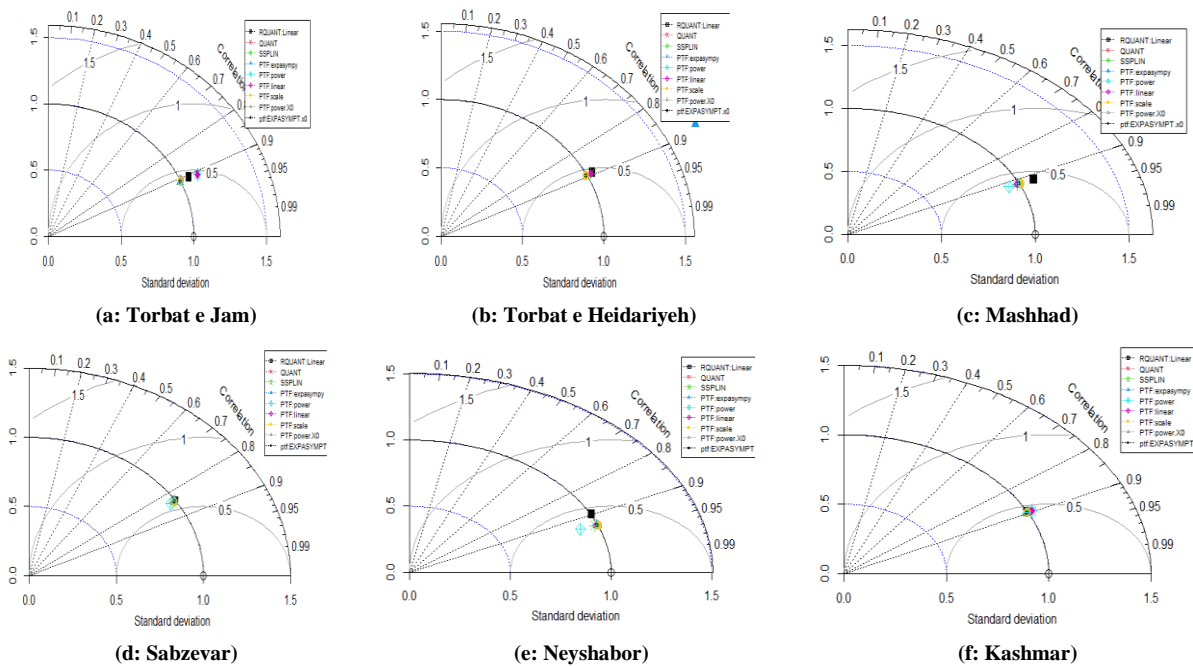
Station	Parameter	AgMERRA			ERA5			Observed		
		Sens Slope	PValue	MK	Sens Slope	PValue	MK	Sens Slope	PValue	MK
Gonabad	Maximum Temperature	0.06	0	3.62	0.03	0.02	0.94	0.109	0	2.96
	Minimum Temperature	0.08	0	4.71	0.04	0.02	2.33	0.123	0	3.31
	Precipitation	-0.03	0.03	-1.53	-2.8	0.29	-2.66	0	0	-1.91
Sabzevar	Maximum Temperature	0.06	0	3.28	0	0.05	0.12	0.021	0.05	3.28
	Minimum Temperature	0.06	0	3.89	0.01	0.06	0.54	0.185	0	3.89
	Precipitation	-0.95	0.38	-0.88	-1.21	0.11	-6.31	0	0.03	-0.88
Mashhad	Maximum Temperature	0.09	0	4.32	0.01	0.05	0.48	0.072	0	3.63
	Minimum Temperature	0.1	0	5.2	0.03	0.03	2.33	0.114	0	5.46
	Precipitation	-1.98	0.13	-1.51	-1.28	0.45	-3.99	0	0.03	-1.51
Torbat e Heidariyeh	Maximum Temperature	0.09	0	4.3	0.01	0.02	0.3	0.012	0	4.3
	Minimum Temperature	0.09	0	5.15	0.02	0.04	0.88	0.072	0	5.13
	Precipitation	-1.24	0.45	-0.75	-0.69	0.16	-2.33	0	0.04	-0.75
Torbat e jam	Maximum Temperature	0.07	0	3.86	0.02	0.02	1	0.099	0.05	1.77
	Minimum Temperature	0.08	0.07	5.35	0.02	0.02	1.38	0.115	0.07	1.9
	Precipitation	-0.99	0.48	-0.92	-1.52	0.26	-2.94	0	0.48	-0.7
Neyshabor	Maximum Temperature	0.06	0	3.84	0.02	0.04	0.45	0.117	0.01	2.57
	Minimum Temperature	0.08	0	4.83	0.01	0.05	0.7	0.138	0.01	2.44
	Precipitation	-0.84	0.58	-0.61	-1.31	0.14	-2.07	0	0.58	-0.55
Kashmar	Maximum Temperature	0.08	0	4.33	0.03	0.02	1.3	0.197	0.01	2.79
	Minimum Temperature	0.1	0	5.22	0.04	0.05	1.84	0.224	0.01	2.82
	Precipitation	-0.08	0.01	-1.36	-1.28	0.45	-3.94	0/00	0.03	-2.17

مشاهده شد در همه ایستگاه‌ها مقادیر این دو سنجه متفاوت است و تغییراتی بین ۷-۲ دارد. بنابراین نیاز است تا روش‌های مختلف تصحیح داده‌های اقلیمی را بر داده‌های مذکور اعمال کنیم که آیا این روش‌های تصحیح باعث بهبود عملکرد نتایج این مدل‌ها می‌شود یا خیر؛ به همین منظور در ادامه نتایج اعمال روش‌های مختلف نگاشت چندکی بر داده‌ها و نتایج ترسیم نمودار تیلور این روش‌ها بیان می‌شود. نتایج نمودار تیلور حاصل از روش‌های مختلف نگاشت چندکی در هفت ایستگاه مطالعاتی برای سه کمیت دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش در مقیاس روزانه ارائه شده است. شکل ۲-الف نشان‌دهنده نمودار تیلور ۹ روش تصحیح نگاشت چندکی در هفت ایستگاه مطالعاتی برای داده‌های دمای بیشینه AgMERRA می‌باشد.

اعمال روش‌های نگاشت چندکی بر داده‌های

ERA5 و AgMERRA

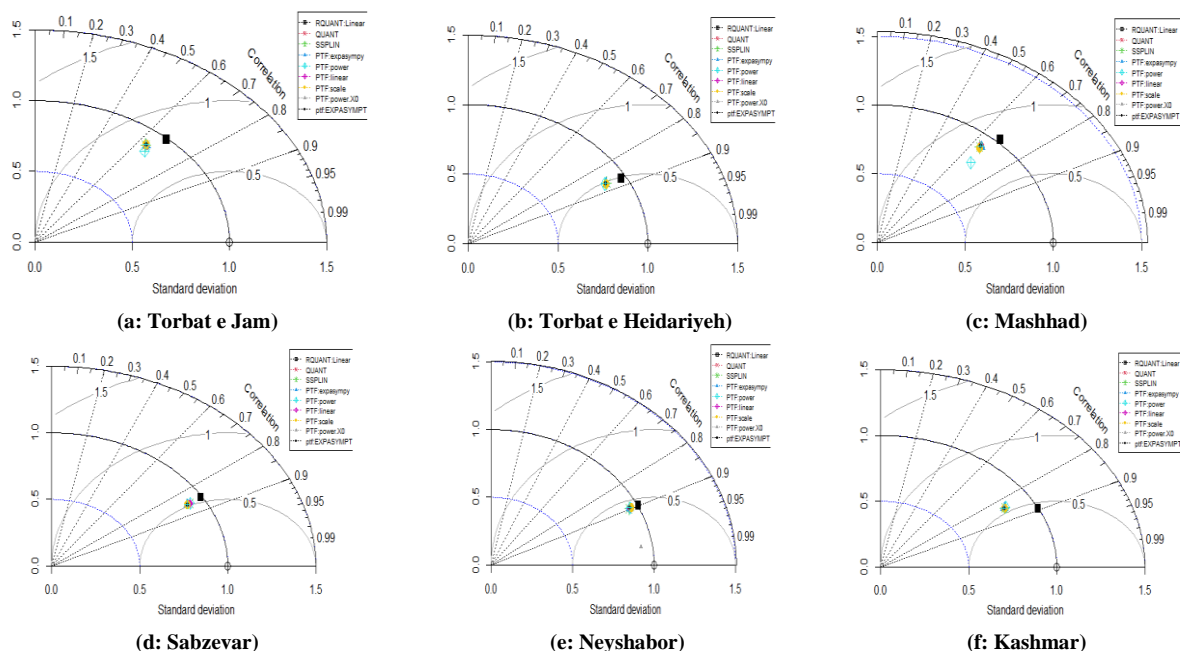
با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت مجموعه داده‌های ERA5 و AgMERRA مشخص شد در دو مجموعه داده مذکور داده‌های ERA5 دارای عملکرد بهتری نسبت به داده‌های AgMERRA در هر سه کمیت دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش هستند و در هر مجموعه داده ضریب همبستگی پیرسون (r) داده‌ها دارای مقادیر کوچک و در برخی از ایستگاه‌ها این همبستگی معنادار نیست. از طرف دیگر طبق تعریف دو سنجه خطای RMSE و MAE هر چه مقادیر این دو سنجه کمتر و به صفر نزدیک‌تر باشد نتایج حاصل از مدل موردبررسی دقت بیشتری دارد بنابراین



شکل ۲-الف- نمودار تیلور دمای بیشینه داده‌های AgMERRA
Figure 2-a- Taylor diagram of Maximum Temperature of AgMERRA data

همه روش‌های نگاشت چندکی نتایج مناسبی را ارائه کرده‌اند اما در بقیه ایستگاه‌ها نتایج متفاوتی مشاهده می‌شود و روش PTF.Scale و PTF.Explasywt نتایج بهتری ارائه می‌دهند. شکل ۲-ج ارائه‌دهنده نمودار تیلور روش‌های مختلف نگاشت چندکی در داده‌های بارش AgMERRA می‌باشد همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های بارش نسبت به داده‌های دمای بیشینه و کمینه همبستگی‌های خیلی پائینی دارند و روش‌های مختلف تصحیح نگاشت چندکی نتایج متفاوتی در ایستگاه‌ها مطالعاتی دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های بارش دارای همبستگی پائین هستند و روش‌های مختلف نگاشت چندکی نتوانسته‌اند باعث بهبود کیفیت این داده‌ها شوند. اما در مجموع از بین ۹ روش اعمالی، روش PTF.Scale نسبت به بقیه روش‌ها عملکرد بهتری نشان داده است.

طبق تعریف نمودار تیلور محور عمودی سنجه CRMSD، محور افقی انحراف معیار استاندارد و کمان نشان‌دهنده ضریب همبستگی (r) می‌باشد. هرچقدر سنجه r و انحراف معیار استاندارد به یک نزدیک باشد و CRMSD به صفر نزدیک‌تر باشد نتایج قابل‌اعتمادتر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین ۷ ایستگاه مطالعاتی، در ایستگاه نیشابور سنجه‌های خطا نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای مقادیر ایده آل هستند و هر ۹ روش نگاشت چندکی در شرایط ایده آل قرار دارند. در سایر ایستگاه‌ها نتایج متفاوتی حاصل شده است اما به‌طور کلی از بین ۹ روش اعمال‌شده، روش PTF.Scale عملکرد بهتری در تصحیح داده‌های دمای بیشینه دارد. شکل ۲-ب نمودارهای تیلور ۷ ایستگاه مطالعاتی برای دمای کمینه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اعمال روش‌های نگاشت چندکی بر داده‌های کمینه نسبت به داده‌های دمای بیشینه نتایج نسبتاً مناسبی را ارائه نکرده است. در ایستگاه کاشمر تقریباً

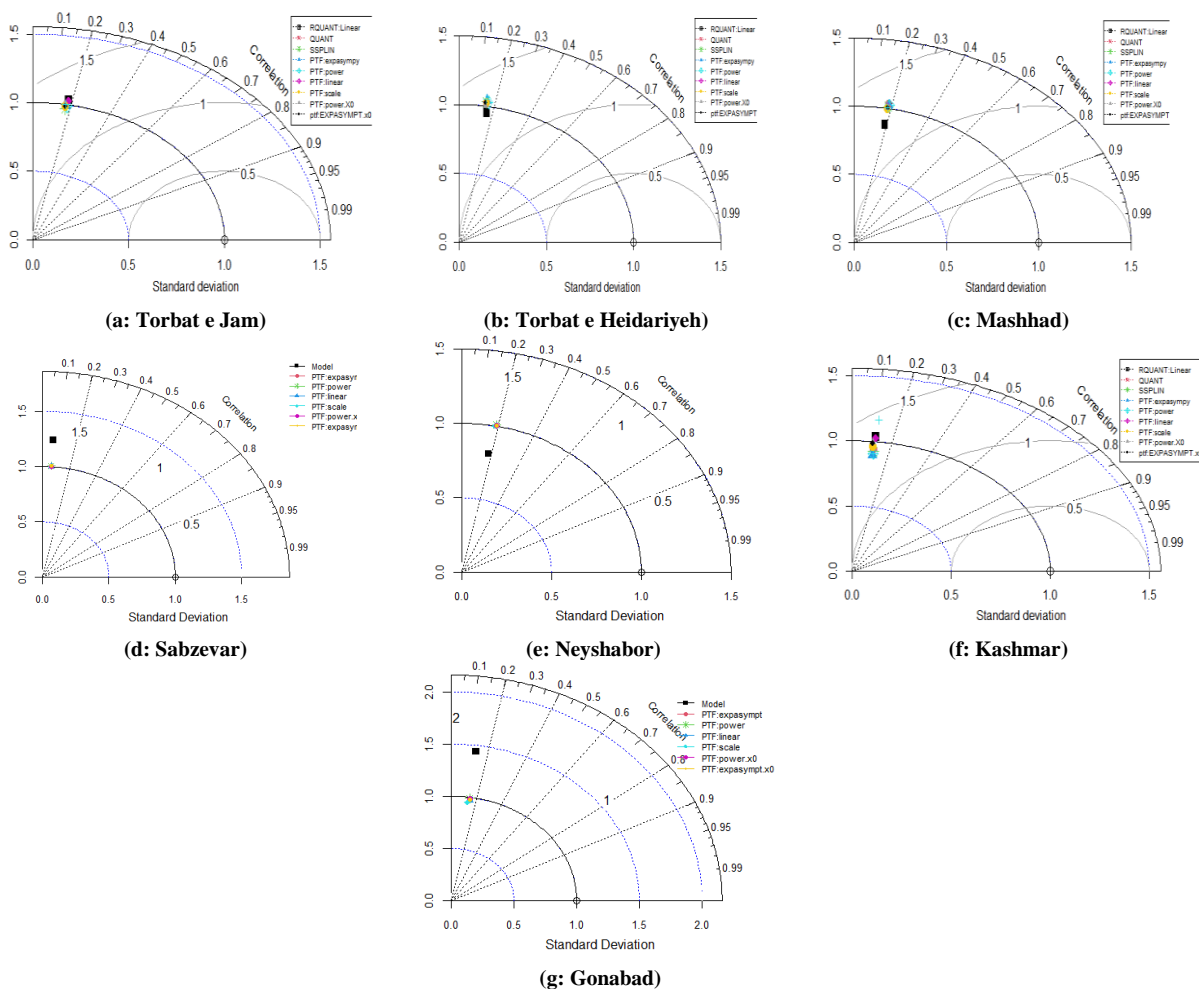


شکل ۲- ب- نمودار تیلور دمای کمینه داده‌های AgMERRA

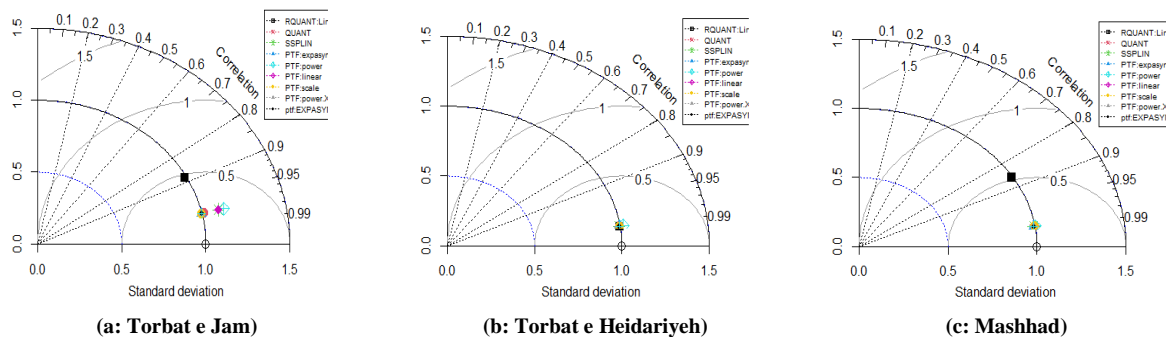
Figure 2-b- Taylor diagram of Minimum Temperature of AgMERRA data

های بارش ERA5 است. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های بارش دارای همبستگی بین ۰/۵۵ و ۰/۷۵، انحراف معیار استاندارد تقریباً یک هستند. در همه ایستگاه‌های مطالعاتی روش‌های نگاشت چندکی باعث بهبود کیفیت داده‌های بارش و افزایش ضریب همبستگی شده‌اند. به‌طور کلی با مقایسه نتایج حاصل از اعمال روش‌های مختلف نگاشت چندکی بر داده‌های ERA5 و داده‌های AgMERRA مشخص می‌شود. روش‌های نگاشت چندکی باعث بهبود داده‌های دمای بیشینه و کمینه در هر مجموعه داده ERA5 و AgMERRA می‌شود که در داده‌های دمای بیشینه تأثیر بهتری دارد. در مورد داده‌های بارش در مجموع داده‌ای بارش AgMERRA نسبت به داده‌های بارش ERA5 همبستگی کمتری در همه ایستگاه‌های مطالعاتی دارند و روش‌های تصحیح نگاشت چندکی باعث بهبود کیفیت داده‌های بارش ERA5 شده‌اند اما بر داده‌های بارش AgMERRA تأثیر مثبتی نداشته‌اند. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج محققان دیگر از جمله (Javanshiri et al., 2023)، (Lashkari et al., 2016) تطابق بالایی دارد.

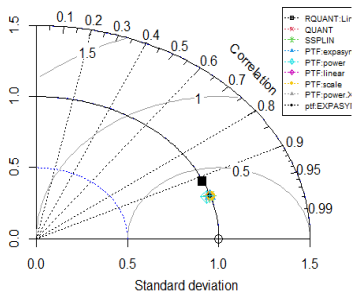
شکل ۳- الف نشان‌دهنده نمودار تیلور ۹ روش نگاشت چندکی جهت تصحیح داده‌های دمای بیشینه داده‌های ERA5 است. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های دمای بیشینه ERA5 نسبت به داده‌های AgMERRA همبستگی بالاتری دارند. در همه ایستگاه‌های مطالعاتی ۹ روش اعمالی دارای ضریب همبستگی بیش از ۰/۹۵ و انحراف معیار استاندارد بیش از یک هستند. مطابق نمودارها هفت روش تصحیح نسبت به روش PTF.linear و PTF.power باعث بهبود کیفیت داده‌های دمای بیشینه می‌شوند. شکل ۳- ب نشان‌دهنده نمودار تیلور روش‌های تصحیح نگاشت چندکی بر داده‌های دمای کمینه ERA5 می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های دمای کمینه دارای ضریب همبستگی بیش از ۰/۷ و انحراف استاندارد بین ۰/۷ تا بیش از یک می‌باشند. از بین ایستگاه‌های مطالعاتی دو ایستگاه کاشمر و گناباد دارای نتایج بهتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها می‌باشند. در مجموع با مقایسه نتایج حاصل از تصحیح داده‌ها مشاهده می‌شود، روش‌های تصحیح نگاشت چندکی باعث بهبود همبستگی و کیفیت داده‌های دمای کمینه شده‌اند. شکل ۳- ج نشان‌دهنده نمودار تیلور روش‌های مختلف تصحیح نگاشت چندکی بر داده



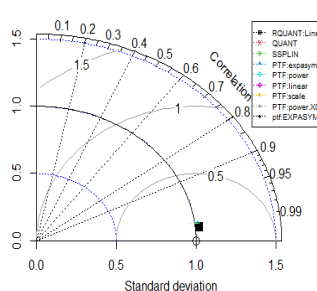
شکل ۲-ج- نمودار تیلور داده‌های مشاهداتی بارش و داده‌های AgMERRA
 Figure 2-c- Taylor diagram of Observation Precipitation data and AgMERRA data



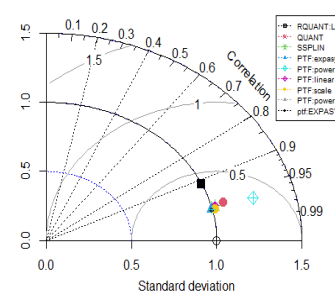
شکل ۳-الف- نمودار تیلور دمای بیشینه داده‌های ERA-5
 Figure 3-a-Taylor diagram of Maximum Temperature of ERA-5 data data



(d: Sabzevar)



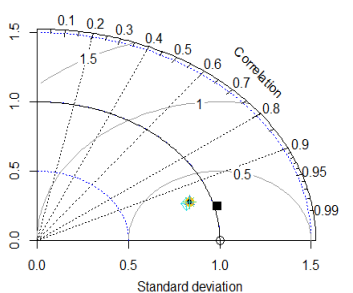
(e: Neyshabor)



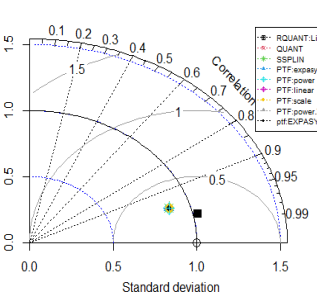
(f: Kashmar)

ادامه شکل ۳-الف

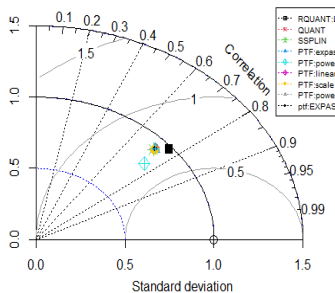
Continued Figure 3-a



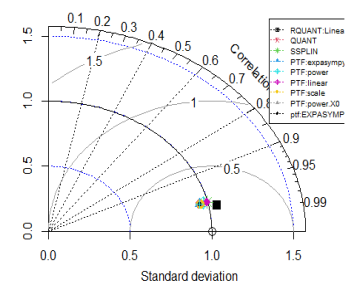
(a: Torbat e Jam)



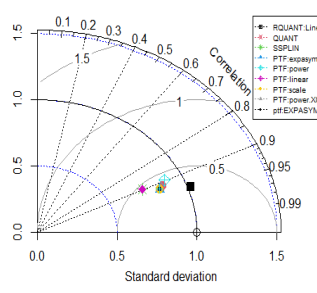
(b: Torbat e Heidariyeh)



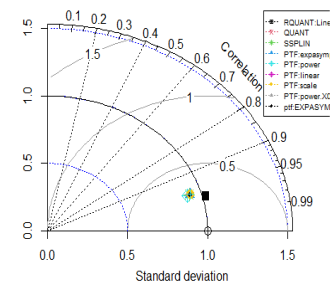
(c: Mashhad)



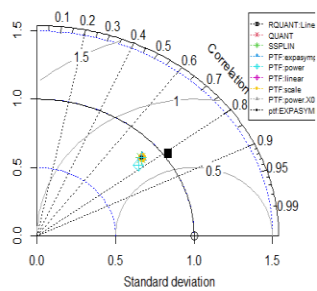
(d: Sabzevar)



(e: Neyshabor)



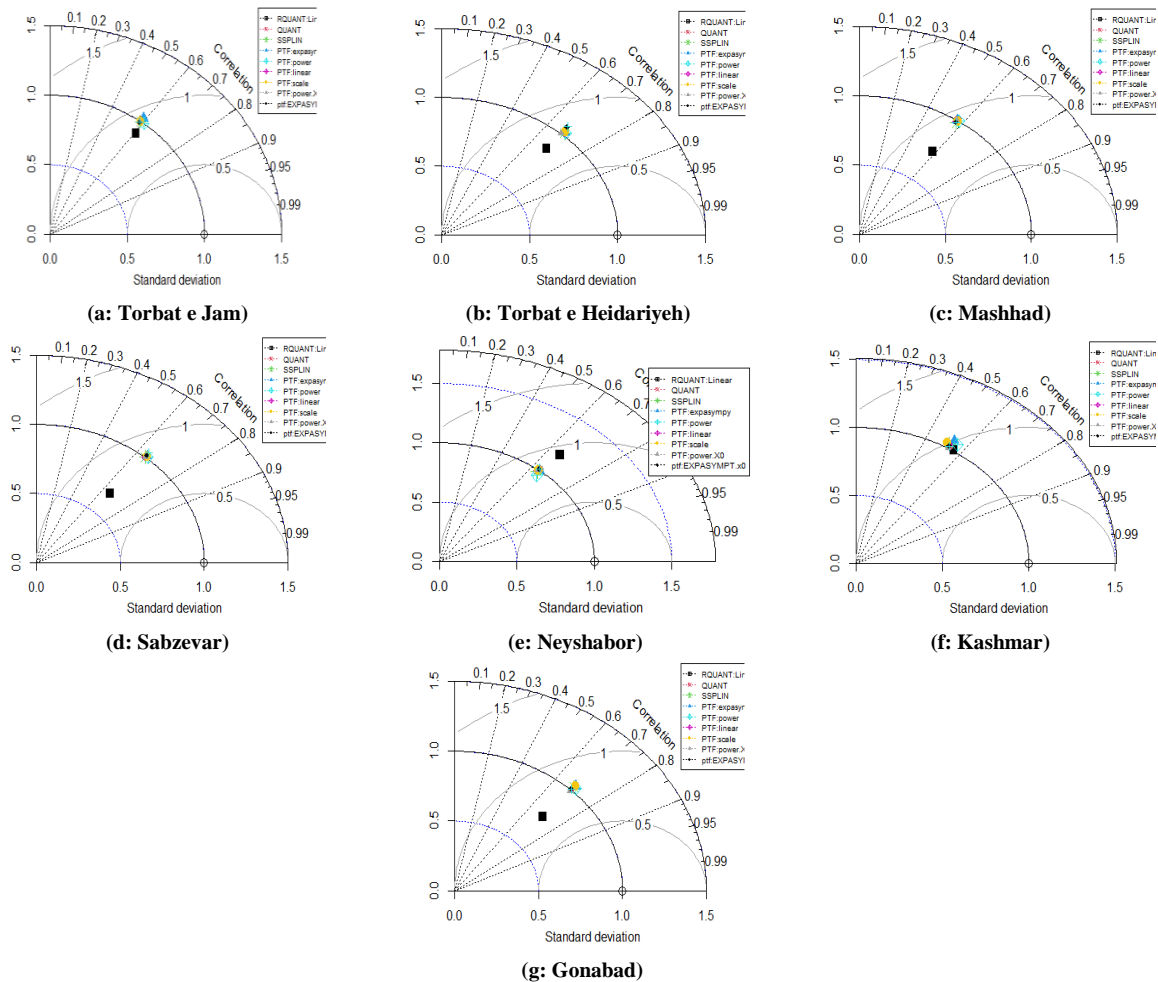
(f: Kashmar)



(g: Gonabad)

شکل ۳-ب- نمودار تیلور دمای کمینه داده‌های ERA-5

Figure 3-b- Taylor diagram of Minimum Temperature of ERA-5 data



شکل ۳-ج- نمودار تیلور بارش داده‌های ERA-5

Figure 3-c- Taylor diagram of Precipitation of ERA-5 data

پایین می‌باشد. دلیل پایین بودن همبستگی داده‌های بارش ویژگی ذاتی بارندگی است، شدت و میزان بارندگی حتی در حوضه‌های کوچک بسیار متغیر است (Maggioni et al, 2014). بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک تغییرات مکانی و زمانی زیادی دارد (Rosenzweig et al, 2014). همچنین با توجه به نتایج حاصل از اعمال روش‌های مختلف تصحیح نگاشت چندکی بر این داده‌ها مشخص شد روش تصحیح PTF:Scale، کارایی بهتری نسبت به سایر روش‌ها در تصحیح داده‌های فوق دارد. بنابراین این روش بر داده‌ها اعمال شد که نتایج آن مطابق جدول ۴ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو مجموعه اعمال روش‌های تصحیح بر داده‌ها باعث کاهش سنجه‌های RMSE و MAE در همه ایستگاه‌های

بررسی سنجه‌های خطا و ضریب همبستگی بعد از تصحیح داده‌ها

پس از بررسی جدول نتایج سنجه‌های ارزیابی خطای دو مجموعه داده ERA5 و AgMERRA در مقابل داده‌های مشاهداتی مشخص شد دو کمیت دمای بیشینه و کمینه هر دو مجموعه داده تخمین خوبی زده‌اند بطوریکه شاخص‌های MAE و RMSE دارای مقادیر کم و خوبی می‌باشند. همبستگی داده‌های دمای بیشینه و کمینه نیز تغییراتی بین ۰/۷ تا ۰/۹ دارد بطوریکه بیشترین همبستگی‌ها مربوط به داده‌های ERA5 می‌باشد. اما در مورد کمیت بارش هر چند مقدار سنجه‌های RMSE و MAE در محدوده قابل قبول قرار دارد اما همبستگی آن خصوصاً برای داده‌های AgMERRA

می‌باشد. در مورد سه کمیت مورد بررسی همبستگی داده‌های دمای بیشینه و کمینه بیشتر از داده‌های بارش می‌شد.

مطالعاتی شده است. داده ضریب همبستگی پیرسون در همه ایستگاه‌ها نسبت به قبل از تصحیح افزایش یافته است، بطوریکه بیشترین مقدار آن مربوط به داده‌های ERA5

جدول ۴-سنجه‌های ارزیابی خطای مجموعه داده‌های AgMERRA و ERA5 در مقابل داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مطالعاتی بعد از

تصحیح به روش PTF:Scale

Table 4 - Measures for evaluating the error between the observational data and the AgMERRA and ERA5 reanalysis data sets at the study stations after correction by the PTF: Scale method

Station	Parameter	AgMERRA DATA			ERA5 DATA		
		MAE	RMSE	R	MAE	RMSE	R
Gonabad	Maximum Temperature	3.25	5.21	0.88	0.96	2.32	0.98
	Minimum Temperature	4.48	6.68	0.67	2.78	5.42	0.83
	Precipitation	2.84	5.31	0.26	1.74	5.86	0.71
Sabzevar	Maximum Temperature	2.02	3.21	0.91	2.63	2.33	0.99
	Minimum Temperature	5.23	5.23	0.87	1.63	2.11	0.91
	Precipitation	3.01	5.10	0.26	2.45	3.85	0.67
Mashhad	Maximum Temperature	1.38	0.85	0.98	1.87	2.46	0.98
	Minimum Temperature	1.20	6.51	0.59	2.23	6.75	0.96
	Precipitation	1.98	6.01	0.22	3.02	3.21	0.71
Torbat e Heidariyeh	Maximum Temperature	4.58	3.23	0.78	1.07	1.23	0.87
	Minimum Temperature	4.25	6.89	0.73	2.86	7.02	0.84
	Precipitation	3.22	6.36	0.24	3.27	4.32	0.62
Torbat e jam	Maximum Temperature	1.02	1.11	0.91	0.84	1.54	0.89
	Minimum Temperature	1.93	7.05	0.81	4.86	2.45	0.98
	Precipitation	1.86	4.30	0.32	3.25	1.22	0.76
Neyshabor	Maximum Temperature	2.84	1.06	0.89	2.90	2.87	0.97
	Minimum Temperature	1.86	6.76	0.87	3.84	1.98	0.94
	Precipitation	2.34	7.27	0.20	2.10	2.77	0.73
Kashmar	Maximum Temperature	0.42	2.67	0.77	1.35	1.69	0.99
	Minimum Temperature	3.26	5.56	0.89	2.84	3.44	0.89
	Precipitation	2.60	5.20	0.27	1.52	4.89	0.75

خطای دو مجموعه داده ERA5 و AgMERRA در مقابل داده‌های مشاهداتی نشان داد هر دو مجموعه داده تخمین خوبی از دمای بیشینه و کمینه زده‌اند بطوریکه شاخص‌های MAE و RMSE دارای مقادیر کم و خوبی می‌باشند. همبستگی داده‌های دمای بیشینه و کمینه نیز تغییراتی بین ۰/۷ تا ۰/۹ دارد بطوریکه بیشترین همبستگی‌ها مربوط به داده‌های ERA5 می‌باشد. اما در مورد کمیت بارش هر چند مقدار سنجه‌های MAE و RMSE در محدوده قابل قبول قرار دارد اما همبستگی آن خصوصاً برای داده‌های AgMERRA پایین می‌باشد. به همین جهت از ۹ روش تصحیح نگاشت چندکی برای تصحیح دو مجموعه داده استفاده شد و نمودار تیلور ۹ روش مذکور در همه ایستگاه‌های مطالعاتی در طی دوره آماری مورد بررسی ترسیم شد. نتایج نشان داد از بین روش‌های تصحیح نگاشت چندکی روش PTF:Scale، کارایی

نتیجه‌گیری

در این مطالعه جهت ارزیابی کیفیت مجموعه داده‌های باز تحلیل ERA5 و AgMERRA از آمار روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش هفت ایستگاه همدیدی استان خراسان رضوی طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۰ از دو سنجه ارزیابی خطای MAE و RMSE و ضریب همبستگی پیرسون (r) استفاده شد. همچنین از آزمون من-کندال و شیب سن برای تعیین روند و بزرگی شیب داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد در سه مجموعه داده مشاهداتی، AgMERRA و ERA5 دمای کمینه و بیشینه دارای روندی افزایشی و معنادار بوده‌اند بطوریکه شیب افزایش روند دمای کمینه در هر سه مجموعه داده بیشتر از داده‌های دمای بیشینه می‌باشد. همچنین داده‌های بارش دارای روندی کاهشی اما این روند کاهشی در بیشتر ایستگاه‌ها معنادار نمی‌باشد. نتایج سنجه‌های ارزیابی

- Battisti, R., Bender, F.D., and Sentelhas, P.C. 2019. Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. *Theoretical and applied climatology*, 135(1): 237-247.
- Bazrafshan, J., Aghashariatmadary, Z., & Kamali, S. 2023. Evaluation of Quantile Mapping Methods in Bias Correction of the TRMM Satellite's Estimated Precipitation Data During Vegetation Growth Period (Apr-Oct) in Kermanshah Province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(2): 4-16. doi: 10.22125/agmj.2022.289694.1117. (In Farsi)
- Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T. and Kalvová, J. 2014. Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate research*, 59(1): 1-13.
- Bender, F. D., & Sentelhas, P. C. 2018. Solar radiation models and gridded databases to fill gaps in weather series and to project climate change in Brazil. *Advances in Meteorology*, 2018(1): 6204382.
- Burhan, A., and Athar, H. 2019. PDF based seasonal changes in AgMERRA observations and GCM20 and RegCM4.3 projections over Pakistan Region. *Climate Change*, 5(17): 68-81.
- Ceglar, A., Toreti, A., Balsamo, G., & Kobayashi, S. 2017. Precipitation over monsoon Asia: a comparison of reanalyses and observations. *Journal of Climate*, 30(2): 465-476.
- Emad Mohammad, A.Y and Darand, M. 2021. Evaluation of time-spatial accuracy of precipitation and temperature estimation of ERA5 database over Iraq. University of Kurdistan. (In Farsi)
- Farzandi, M., Sanaeinejad, S. H., Ghahraman, B., & Sarmad, M. 2019. Imputation of Missing Meteorological Data with Evolutionary and Machine Learning Methods Case Study: Long-term Monthly Precipitation and Temperature of Mashhad. *Water and Soil*, 33(2): 361-377. doi: 10.22067/jsw.v33i2.74125. (In Farsi)
- 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): 311-326.
- Gilbert, R. O. 1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons.
- Gomis-Cebolla, J., Rattayova, V., Salazar-Galán, S., & Francés, F. 2023. Evaluation of ERA5 and ERA5-Land reanalysis precipitation datasets over Spain (1951–2020). *Atmospheric Research*, 284: 106606.
- 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 1950–

بهتری نسبت به سایر روش‌ها در تصحیح داده‌های فوق دارد. بنابراین این روش بر داده‌ها اعمال شد که نتایج آن نشان داد در هر دو مجموعه داده ERA5 و AgMERRA، اعمال روش‌های تصحیح بر داده‌ها باعث کاهش سنج‌های RMSE و MAE در همه ایستگاه‌های مطالعاتی شده است. ضریب همبستگی پیرسون در همه ایستگاه‌ها نسبت به قبل از تصحیح افزایش یافته است، بطوریکه بیشترین مقدار آن مربوط به داده‌های ERA5 می‌باشد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیقات نشان دهنده این است مجموعه داده‌های ERA5 نسبت به داده‌های AgMERRA از کیفیت بالاتری برخوردار هستند و به ترتیب داده‌های دمای بیشینه، دمای کمینه و در آخر داده‌های بارش بیشترین همبستگی‌ها را دارند و روش‌های تصحیح نگاشت چندکی باعث بهبود داده‌ها می‌شوند. پس مجموعه داده ERA5 در مناطقی که داده در دسترس نیست مجموعه داده مناسبی می‌باشد و روش‌های چندکی نیز می‌توانند برای تصحیح خطای این مجموعه داده مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آینده روش‌های تصحیح نگاشت چندکی در مناطق و ایستگاه‌های مطالعاتی بیشتری بررسی شود تا به نتیجه قابل‌اعتمادی دست یافت.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری سازمان هواشناسی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی مورد نیاز تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Araghi, A., Martinez, C. J., Olesen, J. E., & Hoogenboom, G. 2022. Assessment of nine gridded temperature data for modeling of wheat production systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 199: 107189. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107189>.
- Badescu, V., 2008. *Modeling solar radiation at the earth surface*. Verlag Berlin Heidelberg. Springer.
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S and Mohammadian, A. 2010. Association between climate indices aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*. 118(2): 105–114.

- case study: Qazvin Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(6): 1394-1403. (In Farsi)
- Razavi, A. R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Beheshti, A. 2018. Applicability of AgMERRA for Gap-Filling of Afghanistan in-situ Temperature and Precipitation Data. *Water and Soil*, 32(3): 601-616. doi: 10.22067/jsw.v32i3.68501. (In Farsi)
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., ... & Jones, J. W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(9): 3268-3273.
- Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., and Hoogenboom, G. 2017. Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of arid land*, 9(6): 797-809. <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0070-y>. (In Farsi)
- Sen, P. K. 1968. Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 30(2): 312-317.
- Tang, X., Zhang, J., Gao, C., Ruben, G. B., and Wang, G. 2019. Assessing the uncertainties of four precipitation products for SWAT modeling in Mekong River Basin. *Remote Sensing*, 11(3): 304. doi:10.3390/rs11030304.
- Taylor, R. 1990. Interpretation of the correlation coefficient: a basic review. *Journal of diagnostic medical sonography*, 6(1): 35-39.
- Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes mathematicae*, 12(85): 173.
- Toreti, A., Maiorano, A., De Sanctis, G., Webber, H., Ruane, A. C., Fumagalli, D., Fumagalli, A., Ceglar, S., Niemeyer, and Zampieri, M. 2019. Using reanalysis in crop monitoring and forecasting systems. *Agricultural systems*, 168: 144- 153.
- Zandi, R. 2017. Climate classification of Khorasan-Razavi province by Dumartin method using geographic information system. *Journal of Geographical New Studies, Architecture and urbanism*. 10(1): 21-34. <http://noo.rs/jrnQp>. (In Farsi)
- Zhu, Q., Xuan, W., Liu, L., & Xu, Y. P. 2016. Evaluation and hydrological application of precipitation estimates derived from PERSIANN-CDR, TRMM 3B42V7, and NCEP-CFSR over humid regions in China. *Hydrological Processes*, 30(17): 3061-3083.
2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D20).
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water resources research*, 18(1): 107-121.
- Hoseeni, Z. S., Moghaddasi, M., & Paimozd, S. 2022. Accuracy Assessment of ERA5 Datasets in Prediction of Climate Data and Drought Monitoring of Garechai Basin of Markazi Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(4): 715-732. doi: 10.22059/ijswr.2022.340295.669227. (In Farsi)
- Javanshiri, Z., Asadi Oskouei, E., Flamarzi, Y., & Abasi, F. 2023. Accuracy assessment of CFS-v2, MERRA-2, ERA-5 temperature over the different regions of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 17(4): 1-24. doi: 10.30499/ijg.2022.360882.1452. (In Farsi)
- Jolliff, J. K., Kindle, J. C., Shulman, I., Penta, B., Friedrichs, M. A., Helber, R., & Arnone, R. A. 2009. Summary diagrams for coupled hydrodynamic-ecosystem model skill assessment. *Journal of Marine Systems*, 76(1-2): 64-82.
- Jowkar, L., Panahi, F., Sadatinejad, S. J., & Shakiba, A. 2021. Precipitation Extremes Variability Trend in Bakhtegan Catchment Using AgMERRA and Stations Data. *Irrigation and Water Engineering*, 12(1): 364-381. doi: 10.22125/iwe.2021.138351. (In Farsi)
- Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. 4th Edition, Charles Griffin, London.
- Lashkari, A., Bannayan Aval, M., Koocheki, A., Alizadeh, A., Choi, Y. S., & Park, S. 2016. Applicability of AgMERRA forcing dataset for gap-filling of in-situ meteorological observation, Case Study: Mashhad Plain. *Water and Soil*, 29(6): 1749-1758. doi: 10.22067/jsw.v29i6.41686. (In Farsi)
- Liu, R., Zhang, X., Wang, W., Wang, Y., Liu, H., Ma, M., & Tang, G. 2024. Global-scale ERA5 product precipitation and temperature evaluation. *Ecological Indicators*, 166: 112481.
- Maggioni, V., Sapiano, M. R., Adler, R. F., Tian, Y., & Huffman, G. J. 2014. An error model for uncertainty quantification in high-time-resolution precipitation products. *Journal of Hydrometeorology*, 15(3): 1274-1292.
- Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- Poméon, T., Jackisch, D., and Diekkrüger, B. 2017. Evaluating the performance of remotely sensed and reanalysed precipitation data over West Africa using HBV light. *Journal of hydrology*. 547: 222-235.
- Ramezani Etedali, H., Gorgin, F., & Kakvand, P. 2022. Study of the performance of two meteorological datasets in estimating the maize water footprint, a



Evaluation of quantile mapping correction methods on AgMERRA and ERA5 precipitation and air temperature reanalysis data in Khorasan Razavi Province

S. Kamali¹, N. Ghahreman^{2*}, M. Bannayan Aval³

Received: 02/05/2024

Accepted: 01/12/2024

Abstract

The aim of this study is to evaluate the quantile mapping methods for the bias correction of reanalysis data of AgMERRA and ERA5 daily precipitation and air temperature data. Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Pearson's correlation coefficient (r) were used to assess the performance of the correction methods and corresponding Taylor diagrams were drawn for comparative assessment. Daily observed data of maximum temperature, minimum temperature, and precipitation during the period of 1980-2010 from seven synoptic stations in Khorasan-e-Razavi Province were used. In addition, the Mann-Kendall test and Sen's slope were used to determine the trend and its magnitude in the data. The results indicated that both minimum and maximum temperatures exhibited a significant increasing trend, such that the slope of the minimum temperature increase in all three data sets is higher than that of the maximum temperature data. Also, the precipitation data have a decreasing trend, but this decreasing trend is not significant at most stations. In addition, the error evaluation metrics of the two data sets, ERA5 and AgMERRA, compared to the observational data, showed that both data sets have made a good estimate of the maximum and minimum temperatures, such that the MAE and RMSE indices have low and good values. The correlation of the maximum and minimum temperature data also varies between 0.7 and 0.9, with the highest correlations related to ERA5 data. However, in the case of precipitation, the correlation values were low, especially for AgMERRA data. Among the quantile mapping correction methods, the PTF: Scale method has better efficiency than other methods in correcting the reanalysis data, as it has reduced the RMSE and MAE measures in both data sets. The Pearson correlation coefficient has increased at all stations compared to before correction.

Keywords: AgMERRA, Bias correction, ERA5, Khorasan e Razavi Province, Taylor diagram



¹ Ph. D. student of Agrometeorology, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj

² Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj
(*Corresponding Author Email Address: ngahreman@ut.ac.ir)

³ Professor in Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad

نحوه ارجاع مقاله:

کمالی، س.، قهرمان، ن.، بنایان اول، م. ۱۴۰۴. ارزیابی روش‌های تصحیح نداشت چندکی بر داده‌های باز تحلیل AgMERRA و ERA5 جهت شبیه‌سازی داده‌های بارش و دمای هوای روزانه در استان خراسان رضوی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۱): ۳-۲۱. DOI: 10.22125/agmj.2025.481865.1175

Kamali, S., Ghahreman, N., Banayan Aval, M. 2025. Evaluation of quantile mapping correction methods on AgMERRA and ERA5 reanalysis data to simulate daily precipitation and air temperature data in Khorasan-e- Razavi Province. Journal of Agricultural Meteorology, 13(1): 3-13. DOI: 10.22125/agmj.2025.481865.1175