



ارزیابی قابلیت استفاده از داده‌های پایگاه AgMERRA در شرایط کمبود

داده در ایستگاه‌های سینوپتیک دشت سیستان

رقیه کرمی^{۱*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲

^۱استادیار گروه مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون دانشگاه زابل

^۲ستاد گروه محیط زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۱۹

چکیده

در مطالعات اقلیم‌شناسی و محیط‌زیستی گاهی با شرایط کمبود یا نقص داده مواجه هستیم، بنابراین تولید داده‌های هواشناسی قابل اطمینان در مقیاس‌های مختلف زمانی-مکانی اهمیت دارد. به همین دلیل گروه‌های مختلفی در سطح جهان اقدام به جمع‌آوری داده‌های هواشناسی از منابع مختلف زمینی و ماهواره‌ای و بازتولید داده‌ها کرده‌اند که ارزیابی این داده‌ها به منظور استفاده آنها در مطالعات مختلف ضروری است. در این مطالعه قابلیت پایگاه داده‌ی AgMERRA با منشا ماهواره-ایستگاهی برای پر کردن خلا داده و با هدف نهایی تولید داده‌های اقلیمی قابل استناد در مطالعه تالاب بین المللی هامون مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش داده‌های روزانه‌ی پارامترهای دمای حداکثر، حداقل و میانگین و بارش سه ایستگاه سینوپتیک زابل، زهک و زاهدان واقع در دشت سیستان از سازمان هواشناسی ایران تهیه شد. داده‌های AgMERRA از سایت ناسا بارگیری و با نرم افزار Netcdf Extractor استخراج شد. سپس، پنج سنج‌های نکویی برازش برای تعیین میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سه مقیاس روزانه، ۱۴ روزه و ماهانه محاسبه شد. به‌طور کلی AgMERRA توانایی مناسبی برای پر کردن کمبود داده‌های دمایی در ایستگاه‌های مطالعاتی دارد. شاخص‌های نکویی برازش RMSE، NRMSE، MBE و d همبستگی بالایی را بین داده‌های مشاهداتی دما و مدل نشان دادند. همچنین، ضریب R² در هر سه مقیاس زمانی برای داده‌های دما بالا بود (۰/۹ >). ضریب تبیین برای بارش روزانه و ۱۴ روزه پایین و به ترتیب > ۰/۵ و > ۰/۶ محاسبه شد و برای بارش ماهانه در هر سه ایستگاه بالاتر از ۰/۷ بود که قابل قبول و قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، AgMERRA، مقیاس مکانی-زمانی، سیستان

مقدمه

پیش بینی تغییرات اقلیمی در بررسی تغییرات محیط‌زیست و سیستم‌های کشاورزی نیازمند ورود کامل داده‌های هواشناسی به مدل‌ها است (تاردیو و برتی^۲، ۲۰۱۲). داده‌های هواشناسی و الگوی زمانی و مکانی آنها نقش مهمی در تفسیر وضعیت و جریان‌ات

اقلیمی و محیط‌زیستی هر منطقه دارند (بسیلویچ^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). این داده‌ها در مطالعات مختلفی چون فرایندهای چرخه‌ی آب، تخمین زمان وقوع سیل و بهمن و تغییرات اقلیمی کاربرد دارند؛ بنابراین دقت و صحت آنها بسیار مهم است (وانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۹).

3. Bosilovich et al

4. Wang et al

*نویسنده مسئول: roghaye.karami@uoz.ac.ir

2. Tardivo and Berti

همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین، گسترش شیوه‌های ایجاد داده‌های هواشناسی قابل اطمینان در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی به ویژه در مناطق نیازمند مطالعات اقلیمی، محیط‌زیستی و کشاورزی بسیار مهم است (رضوی و همکاران، آلن و دگاتانو^۵، ۲۰۰۱).

اساس روش‌های آماری و سنجش از دور روش‌های مختلف درون‌یابی است که با عدم قطعیت‌های مختلفی همراه هستند (گوارتس^۶، ۱۹۹۷) به همین دلیل، گروه‌های مختلفی در سطح جهان اقدام به جمع‌آوری داده‌های هواشناسی متعدد از منابع مختلف زمینی و ماهواره‌ای و بازتولید داده‌های منظم جهانی در مقیاس‌های مختلف کرده‌اند (ویلومت و ماتسورا^۸، ۱۹۹۵؛ هیجمناس^۹ و همکاران، ۲۰۰۵؛ اشنایدر^{۱۰}، ۲۰۱۱).

امروزه، مراکز مهمی همچون ناسا (NASA) و نوا (NOAA) و مراکز دانشگاهی ملی و بین‌المللی (ECMWF^{۱۱}، CRU^{۱۲}، GPCC^{۱۳}) با استفاده از سنجنده‌ها، مشاهدات میدانی، داده‌های ایستگاهی و داده‌های تاریخی، حجم قابل توجهی از داده‌های آب و هوایی را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مختلف در دسترس کاربران قرار داده‌اند (لوبل^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۸).

در دهه‌های اخیر، داده‌های هواشناسی شبکه‌بندی شده توسعه یافته‌اند که در سه دسته‌ی کلی قرار می‌گیرند: پایگاه مبتنی بر داده‌های مشاهداتی مانند پایگاه داده‌ی آفرودیت (APHRODATE^{۱۵}) که داده‌های بارندگی را در مقیاس منطقه‌ای ارائه می‌دهد؛ پایگاه‌های داده مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای مانند

نتایج بازتحلیل داده‌ها منبع ارزشمندی در مطالعات سیستم‌های آب و هوایی و تغییرات اقلیمی است. سیستم بازتحلیل داده‌ها شامل یک مدل پیش‌بینی کننده و مجموعه داده‌های مشاهداتی است. داده‌های ورودی مشاهداتی معمولاً از نظر زمانی و مکانی نامنظم هستند و ممکن است ناقص یا گم شده باشند (لشکری و همکاران، ۱۳۹۴) یا در برخی موارد به دلایل سیاسی دسترسی به داده‌های هواشناسی مقدور نباشد یا به دلایل سیاسی و جنگ ثبت نشده باشند (حاجی حسینی^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). از میان داده‌های هواشناسی، داده‌های حداقل، حداکثر و میانگین دما، بارش ۲۴ ساعته و تشعشع، مهمترین متغیرهایی هستند که در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت می‌شوند و در مدل‌سازی اقلیمی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (لشکری و همکاران، ۱۳۹۴).

کمبود منابع مالی، سختی و یا عدم دسترسی به برخی مکان‌های دور، باعث شده است که در این مناطق تعداد کمی از داده‌های ایستگاهی هواشناسی موجود باشند (غضنفری مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین، در بررسی داده‌های هواشناسی ثبت شده در برخی ایستگاه‌های هواشناسی با کمبود داده مواجه هستیم. بازسازی داده‌های گمشده یا ناقص به کمک فرایندهای آب و هوایی (آماری و فرایند محور) یا با سنجش از دور انجام می‌شود (آلن و دگاتانو^۲، ۲۰۰۱؛ گوارتس^۳، ۱۹۹۷؛ کیرا^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات تغییر اقلیم نیازمند حداقل سی سال داده‌های هواشناسی است (بوراف^۵، ۲۰۰۳). در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم شفافیت در اطلاعات آب و هوایی و روش‌های استخراج آن‌ها باعث مقایسه‌ی راحت‌تر مناطق و مدل‌های مختلف می‌شود (رزنوی^۶ و همکاران، ۲۰۱۳؛ رواین^۷ و

8. Willmott and Matsuura

9. Hijmans et al

10. Schneider

11. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

12. Climatic Research Unit

13. Global Precipitation Climatology Center

14. Lobell et al

15. Asian Precipitation- Highly-Resolved Observational

2. Hajihoseini et al

2. Allen and De Gaetano

3. Goovaerts

4. Kira et al

5. Burrough

6. Rosenzweig

7. Ruane et al

(میا^۷ و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی تغییرات فصلی پارامتر بارش در پاکستان با استفاده از داده‌های AgMERRA در دوره‌های گذشته و آینده پس از تایید اعتبار آنها در پاکستان نشان داد که در دوره ۱۹۸۰-۱۹۹۸ به ازای افزایش هر درجه‌ی سلسیوس درجه‌ی حرارت، بارش فصلی بهار به میزان ۰/۰۹ میلی‌متر در روز کاهش یافته است (احمد^۸ و همکاران، ۲۰۱۵). یافته‌های مطالعه‌ی مقایسه‌ی داده‌های شبکه بندی شده ماهواره‌ای TRMM^۹، PERSIANN-CDR^{۱۰} و NCER-CFDR^{۱۱} 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 (ژو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه دیگری که برای بررسی داده‌های ده منبع رایگان داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل شده در شش حوضه آبخیز در غرب آفریقا انجام شد، نتایج نشان داد که این داده‌ها به دقت میزان جریان آب را در این حوضه‌ها پیش بینی می‌کنند (پومئون^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج مطالعه‌ی انجام شده در مورد مدل های تشعشع خورشیدی براساس داده‌های دماهای کمینه، بیشینه و بارش حاصل از پایگاه‌های XAVIER^{۱۳}، AgMERRA، NASA تایید کننده اعتبار بیشتر داده‌های پایگاه‌های AgMERRA و XAVIER^{۱۴} نسبت به سایر پایگاه‌هاست (بندر و سنتل‌هاس^{۱۵}، ۲۰۱۸). در ادامه داده‌های این دو پایگاه معتبر برای شبیه‌سازی محصول سویا در مزارع برزیل با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد پایگاه داده

PERSIANN^۱ و TRMM^۲ (هونگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۴) و پایگاه‌های ترکیبی از داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای مانند AgMERRA^۴ (رواین و همکاران، ۲۰۱۵). پایگاه داده‌ی AgMERRA نتیجه‌ی بازتحلیل داده‌های ماهواره‌های CMORPH^۵، MERRA و PERSIANN و داده‌های دیدبانی ۲۳۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق مهم کشاورزی جهان است. پایگاه AgMERRA مجموعه‌ای از داده‌های آب و هوایی روزانه با قدرت تفکیک بالا شامل دمای حداکثر، حداقل و میانگین (۵۰ × ۵۰ کیلومتر)، تشعشع خورشیدی (۱۰۰ × ۱۰۰ کیلومتر)، بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت باد (۲۵ × ۲۵ کیلومتر) را در دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۱۰ در دسترس کاربران قرار می‌دهد (رواین و همکاران، ۲۰۱۵). ارزیابی داده‌های شبکه‌بندی شده در مناطق مختلف به ویژه در مناطقی که دارای تعداد کمی ایستگاه هواشناسی هستند و یا زمان کوتاهی از احداث ایستگاه و ثبت داده آنها می‌گذرد ضروری به نظر می‌رسد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ روی^۶ و همکاران، ۲۰۱۸).

تاکنون مطالعات مختلفی در مورد کارایی روش‌های شبکه‌بندی هواشناسی و محصولات بازتحلیل شده‌ی مختلف انجام شده است که همگی اعتبار این داده‌ها را برای مطالعات کشاورزی و اقلیمی تایید کرده‌اند. بررسی بارش‌های حدی در کشور چین با استفاده از داده‌های بارش روزانه شبکه بندی شده‌ی PERSIANN ارزیابی شد و نتایج حاکی از شباهت رفتار بارشی این داده‌ها با داده‌های زمینی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف به ویژه در شرق چین در بارش‌های مونسون است، ولی در مناطق خشک مانند تبت این تطابق و شباهت قوی نیست

7. Miao et al

8. Ahmad et al

9. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record

10. National Centers for Environment Prediction-Climate Forecast System Reanalysis

11. Zhu et al

12. Pomeon et al

13. Agricultural Climate Forecast System Reanalysis

14. Daily gridded meteorological variables in Brazil

15. Bender and Sentelhas

1. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

2. Tropical Rainfall Measuring Mission

3. Hong et al

4. Agricultural Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications

5. Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Application

6. Roy et al

XAVIER دارای عملکرد بهتری نسبت به پایگاه AgMERRA است (باتیستی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج بررسی تغییرات پارامترهای دما و بارش میانگین در پاکستان با استفاده از داده‌های AgMERRA نشان داد که در دهه ۱۹۹۰ نسبت به دهه ۱۹۸۰ دمای میانگین نیم درجه افزایش و بارش میانگین ۱/۸ میلی متر در روز کاهش یافته است (Burhan and Athar, 2019). مطالعه انجام شده در مورد داده‌های بارش با استفاده از داده‌های AgMERRA، AgMIP^۲، MSWEM^۳، TMPA^۴ و PERRSAN-CDR در حوزه‌ی آبخیز مکانگ مشخص ساخت که داده‌های AgMERRA در تراکم‌های مختلف بارش نسبت به سایر داده‌های بازتحلیل شده تطابق بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد (تانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). برای پایش محصولات کشاورزی در ایتالیا میزان همبستگی داده‌های AgMERRA و ERA-Inetrim^۶ با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، خوب و قابل اعتماد ارزیابی شد (تورتی^۷ و همکاران، ۲۰۱۹). در ایران نیز مطالعات مختلفی برای تایید اعتبار داده‌های ماهواره‌ای، شبکه بندی شده و بازتحلیلی انجام شده است (غضنفری و همکاران، ۱۳۹۰، زنگنه و همکاران، علی بخشی و همکاران، ۱۳۹۷). داده‌های پایگاه و AgMERRA و داده‌های ایستگاهی دو ایستگاه گل‌مکان و مشهد باهم مقایسه شدند و نتایج نشان داد به ویژه در مورد پارامتر بارش نیاز هست ایستگاه‌های بیشتری مطالعه شود تا بتوان در مورد اعتبار پایگاه AgMERRA تصمیم گیری نمود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۵). براساس همبستگی بسیار بالا بین داده‌های پایگاه AgMERRA و ایستگاه‌های هواشناسی حوضه‌ی

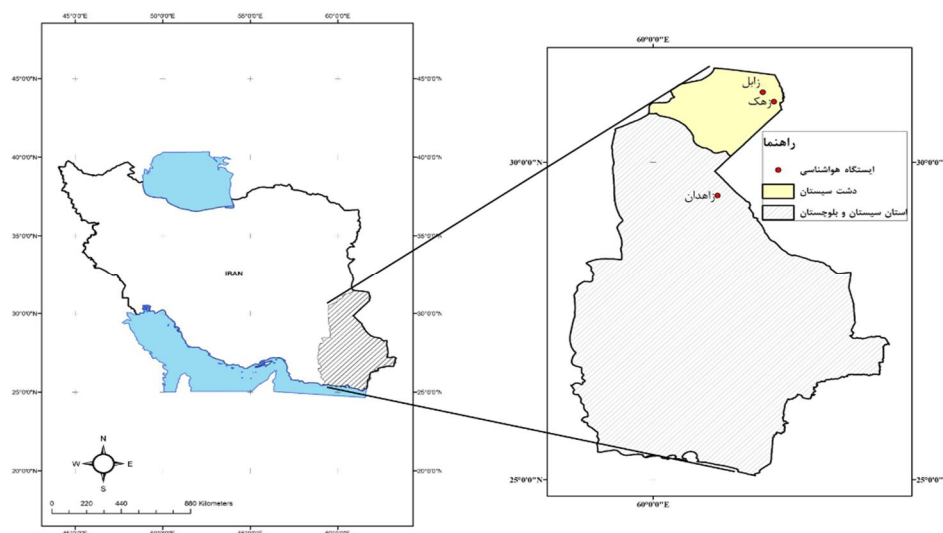
آبخیز کشف‌رود در دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۱۰ شاخص‌های مختلف خشکسالی با استفاده از هر دو نوع داده ایستگاهی و بازتحلیلی محاسبه شد و بین شاخص‌های خشکسالی به‌دست آمده از داده‌های AgMERRA نسبت به ایستگاه‌های زمینی همبستگی بیشتری دیده شد (صالح نیا^۸ و همکاران، ۲۰۱۷). امکان استفاده از پایگاه AgMERRA از طریق مقایسه آنها با داده‌های دیده‌بانی با محاسبه‌ی شاخص‌های نکویی برازش در سه ایستگاه قندهار، کابل و هرات در کشور افغانستان طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۰ بررسی و تایید شد (رضوی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج ارزیابی و تطبیق داده‌های پایگاه AgMERRA در ۹ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی، تایید کننده‌ی استفاده از داده‌های پایگاه AgMERRA جهت برآورد میانگین بلندمدت نیاز آبی و عملکرد گندم دیم در این استان بود (یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۷). امکانسنجی استفاده از داده‌های پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی‌شده‌ی CRU، AgCFSR، AgMERRA و CRU-GPCC در برآورد عملکرد و نیاز آبی گیاه گندم بررسی و نتایج با مقادیر برآورده شده داده‌های ایستگاهی قزوین مقایسه شد و نشان داد که در برآورد نیاز آبی پایگاه GPCC و در عملکرد گندم پایگاه AgMERRA بیشترین همبستگی را با داده‌های ایستگاهی داشتند (بحرالعلوم و همکاران، ۱۳۹۹). اعتبار و امکان استفاده از داده‌های شبکه بندی شده AgMERRA در مطالعات کشاورزی-اقلیمی در استان خراسان شمالی ارزیابی و تایید شد (فرهادی و همکاران، ۱۴۰۰). در تخمین ردپای آب ذرت در دشت قزوین داده‌های دو پایگاه AgMERRA و GPCC سخت سنجی شده و نتایج حاکی از اعتبار هر دو پایگاه هستند (رمضانی اعتدالی و همکاران، ۱۴۰۰). روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش در حوضه‌ی آبخیز بختگان با استفاده از داده‌های ایستگاهی و AgMERRA بررسی شد و اعتبار داده‌های این پایگاه در مطالعات حدی بارش در این حوضه تایید شد (جوکار و همکاران، ۱۴۰۰).

1. Battisti et al
2. Agricultural Model Inter-comparison and Improvement Project
3. Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation
4. Tropical Rainfall Measuring Mission 3B42 Version7
5. Tang et al
6. A global atmospheric reanalysis from 1979, continuously updated in real time
7. Toreti et al

برابر داده‌های دیدبانی سه ایستگاه سینوپتیک زابل، زهک و زاهدان با هدف استفاده از داده‌های این پایگاه در بررسی‌ها و پیش‌بینی اقلیمی منطقه و نهایتاً کاربرد آن‌ها در مطالعات تالاب بین‌المللی هامون مورد ارزیابی قرار گرفته است.

منطقه مطالعاتی

ایستگاه‌های مورد مطالعه در جنوب شرق ایران- استان سیستان و بلوچستان قرار دارند شکل (۱). ایستگاه‌های هواشناسی زابل و زهک دو ایستگاهی هستند که در دشت پهنای سیستان قرار گرفته‌اند و متغیرهای هواشناسی را به طور روزانه ثبت می‌کنند. به دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌ها و به دلیل نزدیکی و شباهت جغرافیایی ایستگاه زاهدان و نیز برای اطمینان از نتایج مطالعه، داده‌های این ایستگاه نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

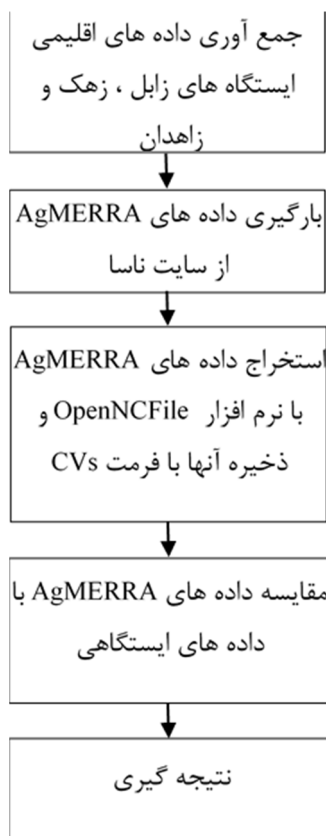


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

این نرم افزار توسط گروه AgriMet Soft توسعه داده شده است. در نسخه 1.1 با وارد کردن داده‌های بارگیری شده و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های متغیر مورد نظر برای دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۰ استخراج و با فرمت CVS ذخیره می‌شود. در مرحله بعد، داده‌های استخراج شده با AgMERRA با داده‌های دیدبانی مقایسه شد.

داده‌ها و روش‌ها

در این مطالعه مطابق شکل (۲) ابتدا داده‌های ایستگاهی جمع آوری شد و به فرمت های ۱۴ روزه و ماهانه تبدیل شدند. سپس داده‌های AgMERRA با فرمت nc4 از پایگاه اینترنتی سازمان هوا-فضای آمریکا بارگیری شدند. سپس، داده‌ها با استفاده از نرم افزار OpenNCFFile نسخه 1.1 استخراج گردیدند.



شکل ۲: مراحل انجام مطالعه

دامنه‌ی داده‌های مشاهده شده (معادله ۲) و یا توسط میانگین آنها (معادله ۳).

$$NRMSE = \frac{RMSE}{St_{max}-St_{min}} \quad \text{معادله (۲)}$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{St}} \quad \text{معادله (۳)}$$

اگر مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ متوسط و بیشتر از ۳۰ ضعیف خواهد بود (Razavai, et al., 2018).

میانگین خطای اریبی (MBE) از میانگین تفاضل مقادیر مشاهده شده ایستگاهی از مقادیر شبیه‌سازی شده مدل محاسبه می شود (معادله ۴).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (St_i - Ag_i)}{N} \quad \text{معادله (۴)}$$

شاخص توافق یک شاخص استاندارد شده برای محاسبه خطای شبیه‌سازی مدل است که مقدار آن بین صفر و یک می باشد؛ مقدار صفر نشان دهنده عدم توافق و مقدار یک بیانگر حداکثر توافق است. (رابطه ۵).

$$d = 1 - \frac{\sum (st_i - Ag_i)^2}{\sum (|Ag_i - \bar{St}| + |St_i - \bar{St}|)^2} \quad \text{معادله (۵)}$$

ضریب تبیین (R^2) رگرسیون خطی برای تخمین طول و اریبی روابط، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و مجذور خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE) و شاخص توافق (d) برای اندازه گیری توافق بین داده‌ها محاسبه شد. RMSE عموماً برای محاسبه‌ی تفاوت میان داده‌های دیدبانی و شبیه‌سازی شده به کار می رود (معادله ۱). این شاخص، خطای شبیه‌سازی را از طریق وزن‌دهی به خطاهای بیش از حد بزرگ محاسبه می کند. هرچه مقدار RMSE کمتر باشد قدرت شبیه‌سازی مدل بهتر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Ag_i - St_i)^2}{N}} \quad \text{معادله (۱)}$$

شکل بدون واحد RMSE با نام جذر میانگین مربعات خطای استاندارد شده (NRMSE) برای مقایسه‌ی داده‌هایی با واحدهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبه‌ی NRMSE از دو راه استفاده می شود: استانداردسازی RMSE توسط

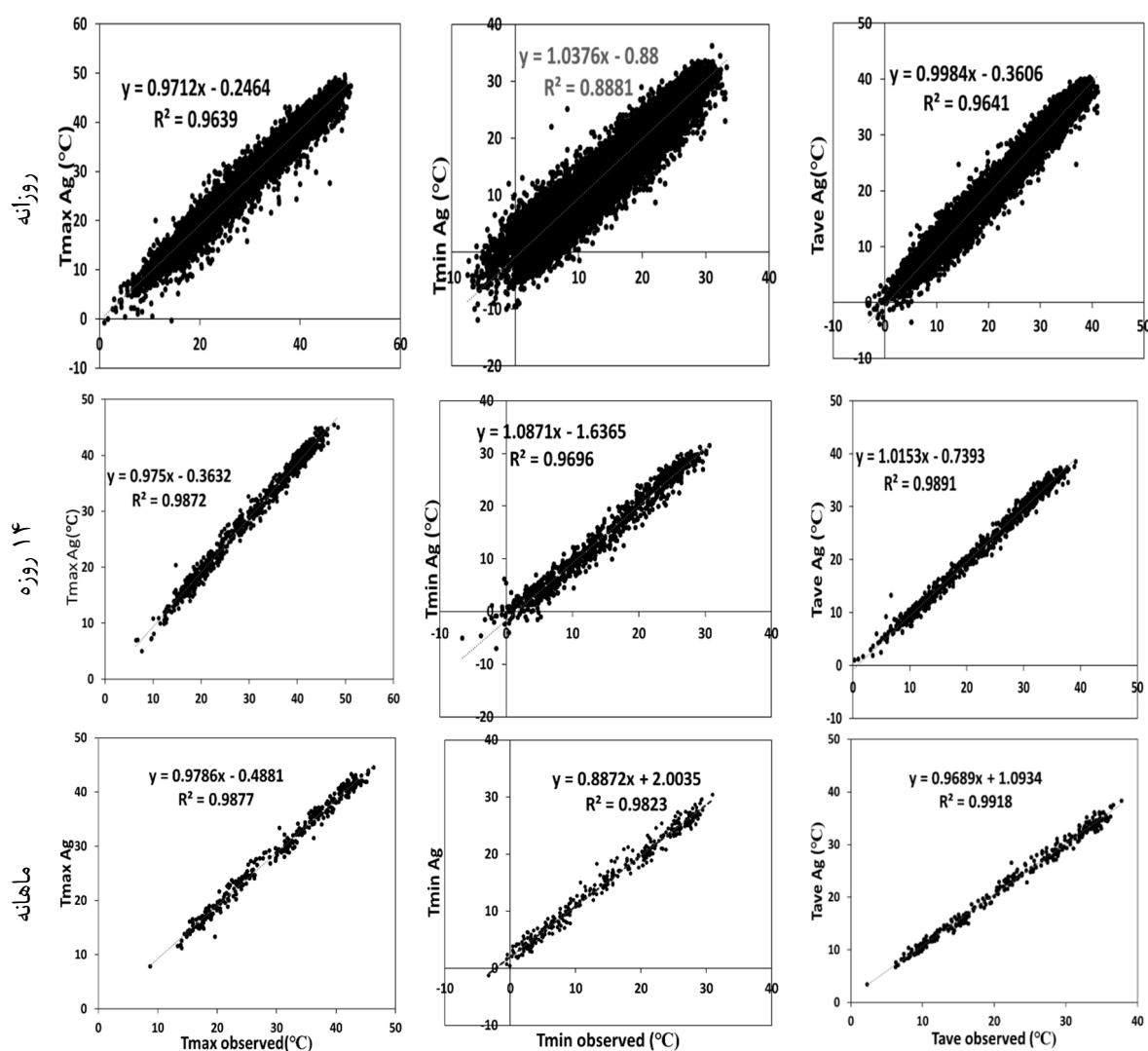
مدل و واقعی دیده می‌شود. مطالعات رضوی و همکاران (۱۳۹۷) و یعقوبی و همکاران (۱۳۹۷) نتایج مشابهی با این مطالعه دارد.

در مورد داده‌های دما، از بین ایستگاه‌های مطالعاتی، بیشترین میزان تطابق بین داده‌های AgMERRA و داده‌های مشاهداتی ایستگاه زابل مشاهده شد (شکل ۳) و به ترتیب میزان تطابق از مقیاس روزانه به مقیاس ماهانه افزایش یافته است. کمترین ضریب تبیین مربوط به دمای حداقل ایستگاه زاهدان با مقدار $0/۸۱۸$ و بیشترین همبستگی مربوط به دمای میانگین ایستگاه زابل با مقدار $0/۹۹۸$ است (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).

در روابط بالا N، Ag و St به ترتیب تعداد داده‌ها، مقادیر شبیه‌سازی شده توسط AgMERRA و مقادیر مشاهده شده در ایستگاه‌های هواشناسی و نیز St_{max} ، St_{min} و $\bar{St}$ به ترتیب حداکثر، حداقل و میانگین مقادیر دیدبانی می‌باشد.

نتایج و بحث

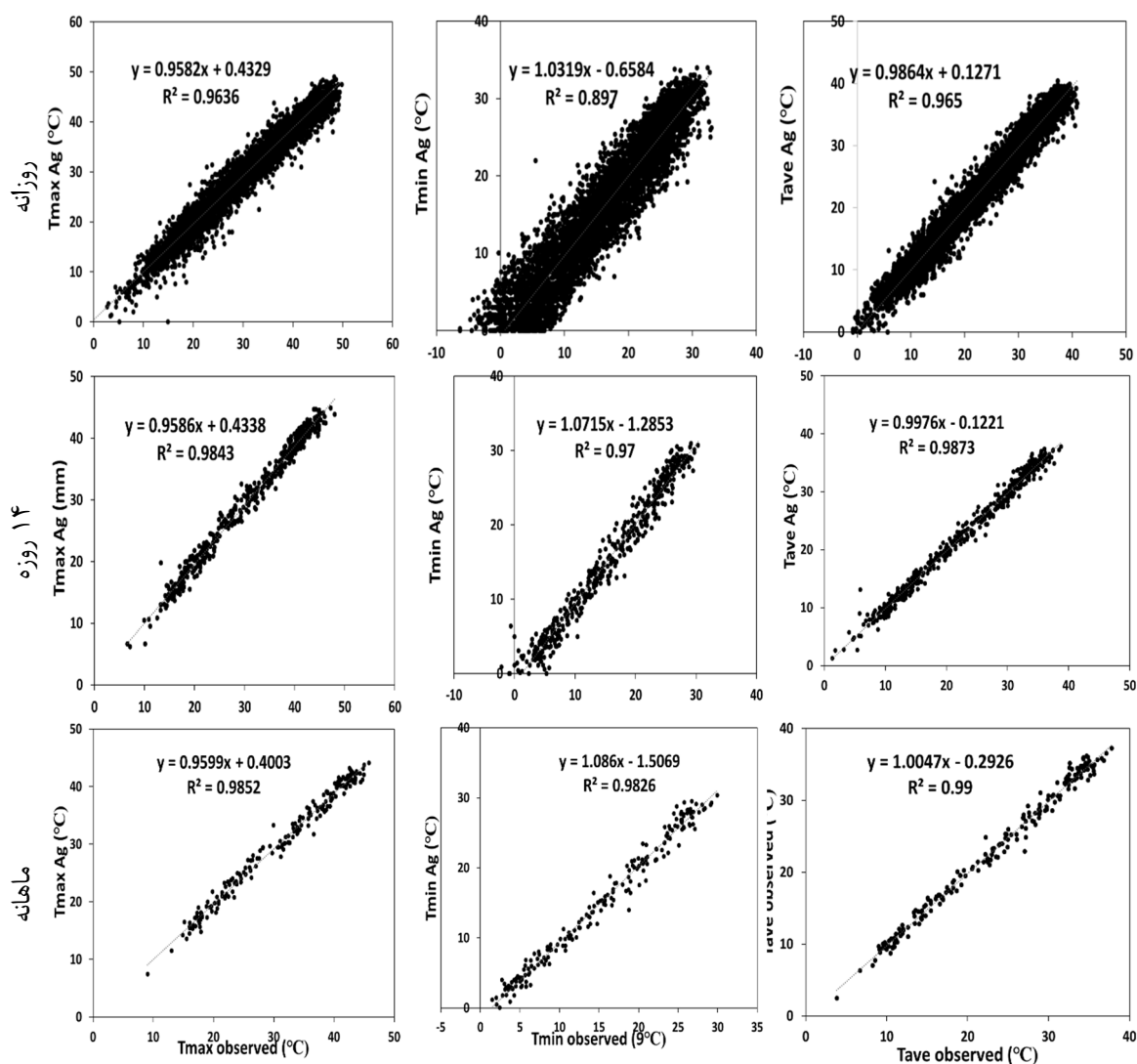
به‌طور کلی نتایج اعتبارسنجی داده‌های پایگاه AgMERRA و مقایسه آنها با داده‌های واقعی در ایستگاه‌های مورد مطالعه موید قدرت بالای داده‌های این پایگاه در شبیه‌سازی است. به ویژه، در مقیاس‌های ۱۴ روزه و ماهانه تطابق بیشتری بین داده‌های



شکل ۴- مقایسه دمای حداکثر، حداقل و میانگین داده‌های AgMERRA و مشاهداتی ایستگاه زابل در مقیاس‌های مختلف زمانی

شاخص RMSE و NRMSE از دوره‌ی روزانه به ماهانه کاهش یافته است (جدول ۱). بیشترین میزان RMSE به‌ترتیب برای دمای حداقل روزانه‌ی ایستگاه زاهدان (۳/۴۸۷) و کمترین میزان آن برای دمای میانگین ماهانه‌ی زهک (۰/۹۸۳) محاسبه شد. شاخص NRMSE برای تمام مقیاس‌های زمانی و مکانی هر سه پارامتر دمای حداقل، حداکثر و میانگین زیر ده درصد است که حاکی از تطابق بالای داده‌های شبیه‌سازی شده و مدل است.

میزان تطابق و همبستگی میان داده‌های مشاهداتی و AgMERRA در مقیاس ۱۴ روزه‌ی همه ایستگاه‌های مطالعاتی بالاتر از ۰/۹۵ و در مقیاس ماهانه بالاتر از ۰/۹۷ است که بیانگر تطابق بالاست. مطالعات رضوی و همکاران بر روی سه ایستگاه هواشناسی افغانستان (رضوی و همکاران، ۱۳۹۷)، یعقوبی و همکاران بر روی نُه ایستگاه سینوپتیک دشت مشهد (یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۸) نیز این موضوع را تایید می‌کند.



شکل ۴- مقایسه دمای حداکثر، حداقل و میانگین داده‌های AgMERRA و مشاهداتی ایستگاه زهک در مقیاس‌های مختلف زمان

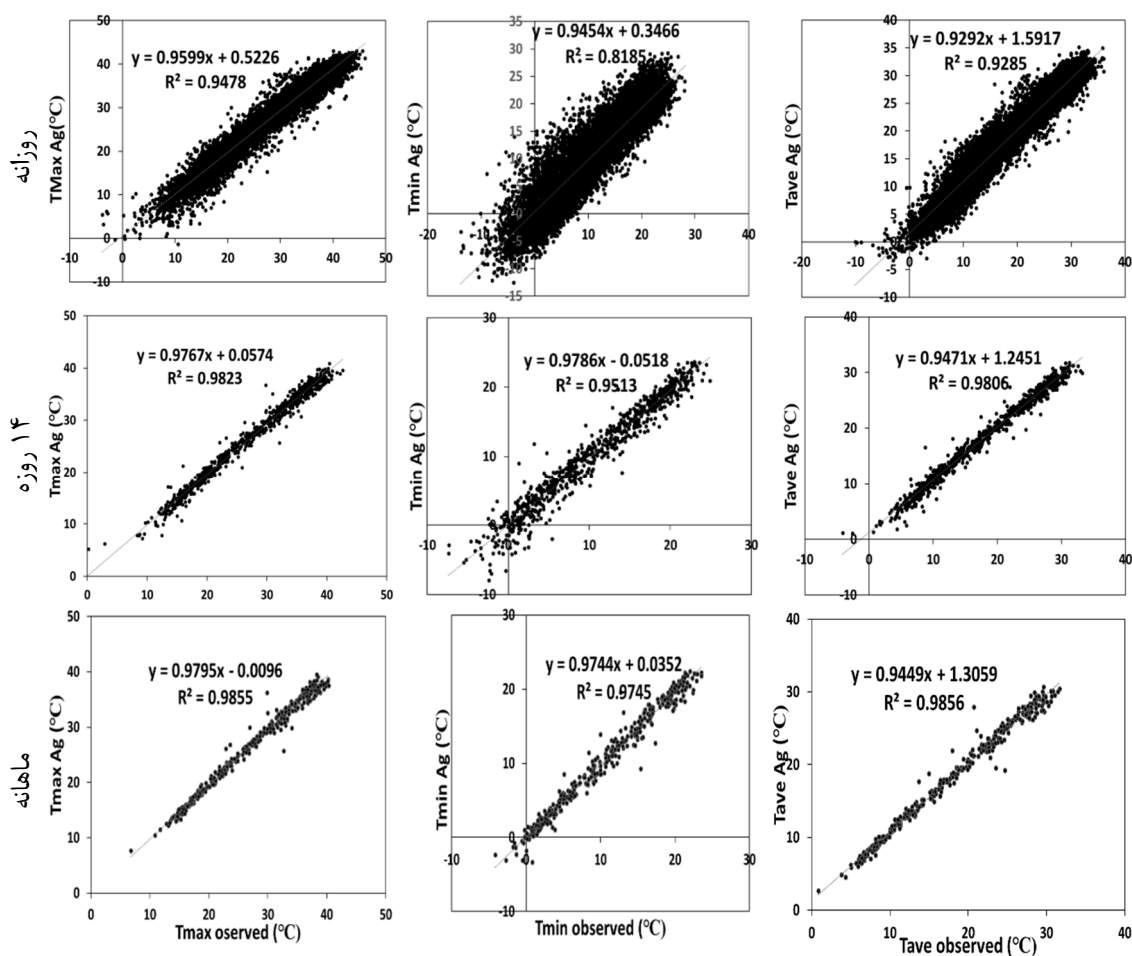
حداکثر منفی است که نشان می‌دهد پایگاه AgMERRA داده‌ها را کمتر از میزان واقعی تخمین

همانطور که جدول (۱) نشان می‌دهد، شاخص MBE در مقیاس‌های زمانی - مکانی دمای حداقل و

است و کمترین میزان ($0/971$) برای دمای حداقل روزانه ایستگاه زهک محاسبه شده است. شاخص توافق در همه مقیاس‌های مکانی زمانی بیش از $0/97$ است که بیانگر توافق بالای داده‌های مدل و دیدبانی است. توپوگرافی ساده و دشتی بودن منطقه و نیز موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه باعث کم بودن خطا بین داده‌های شبیه سازی شده و مشاهداتی است.

زده است. این شاخص برای دمای میانگین مثبت است. هرچه شاخص MBE از صفر فاصله بیشتری داشته باشد داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی فاصله بیشتری دارد (رضوی و همکاران، ۱۳۹۷).

در مورد شاخص توافق (d) بیشترین مقدار زمانی و مکانی متعلق به دمای میانگین ماهانه ایستگاه زهک و دمای میانگین ۱۴ روزه ایستگاه‌های زهک و زابل



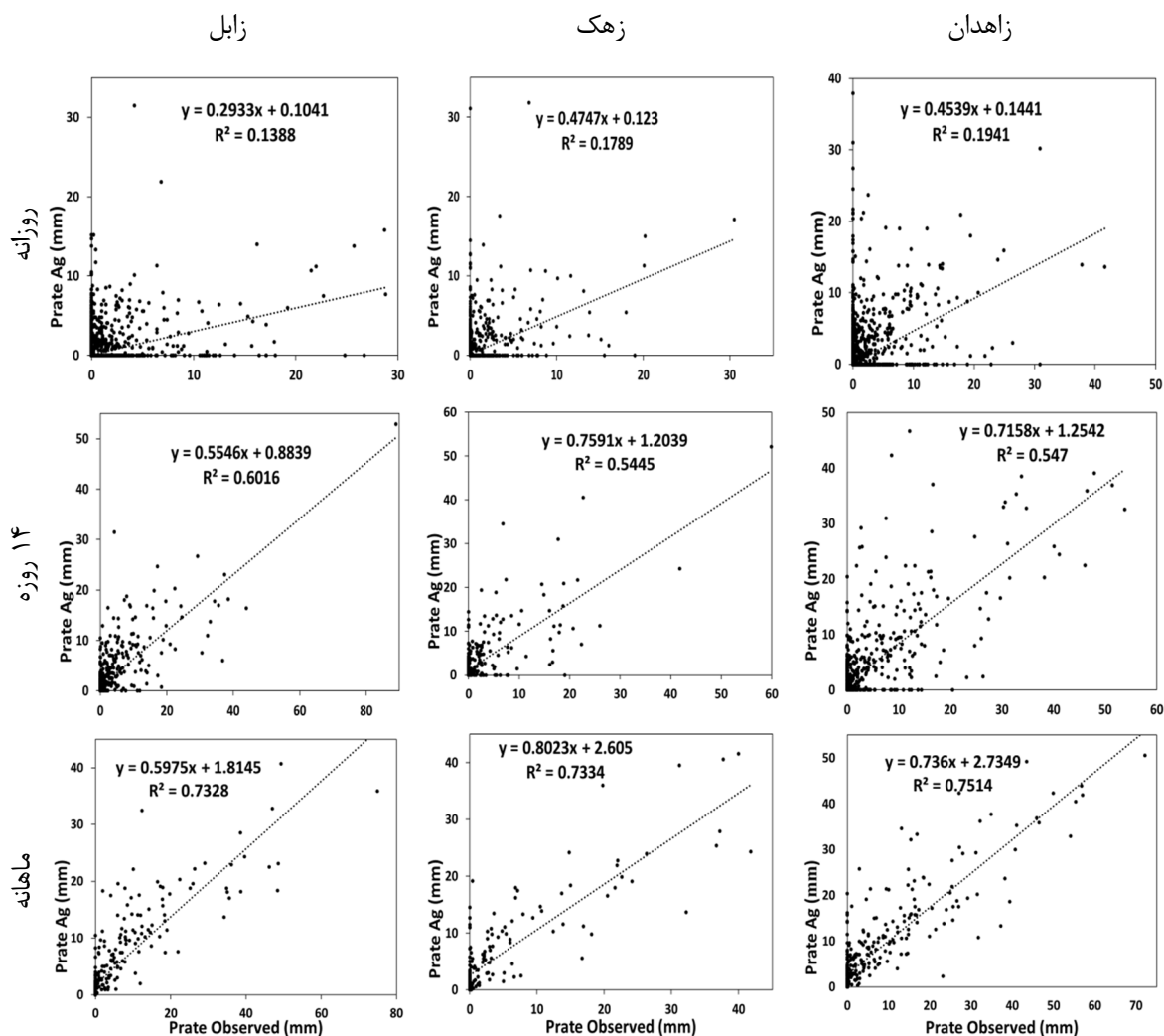
شکل ۵- مقایسه دمای حداکثر، حداقل و میانگین داده‌های AgMERRA و مشاهداتی ایستگاه زاهدان در مقیاس‌های مختلف زمانی

قبول و بالاتر از $0/7$ برای هر سه ایستگاه زابل، زهک و زاهدان است؛ هرچند که مقادیر RSME، NRSME، MBE و d حاکی از کارایی بالای مدل هستند. دلیل این وضعیت، ویژگی ذاتی بارندگی است، شدت و میزان بارندگی حتی در حوضه‌های کوچک بسیار

ضریب تبیین محاسبه شده برای پارامتر بارندگی نشان داد که همبستگی و تطابق میان داده‌های بارش شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مقیاس زمانی روزانه ($0/13-0/19$) و ۱۴ روزه ($0/51-0/63$) پایین می باشد (شکل ۶). ولی همبستگی در مقیاس ماهانه قابل

مقیاس ماهانه ۰/۹ است که نشان دهنده ی برآزش خیلی خوب است. اما در مقیاس روزانه این شاخص در ایستگاه زابل ۰/۵ و در ایستگاه های زهک و زاهدان حدود ۰/۶ است که تطابق کم را نشان می دهد. در مطالعه یعقوبی و همکاران (۱۳۹۷)، لشکری و همکاران (۱۳۹۵) و فرهادی و همکاران (۱۴۰۰) مانند مطالعه حاضر ضریب تبیین پایینی میان داده‌های مشاهداتی و مدل در مقیاس روزانه به دست آمد. ولی ضریب تبیین به دست آمده در مطالعه‌ی رضوی و همکاران بیانگر همبستگی زمانی - مکانی بالای داده‌های مشاهداتی و مدل در مقیاس روزانه است و از این نظر با مطالعه حاضر متفاوت است.

متغیر است. بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک تغییرات مکانی و زمانی زیادی دارد که در بسیاری از موارد به دلیل سیستم‌های میان‌مقیاس و خردمقیاس است. هرچند داده‌های AgMERRA تلفیقی از داده‌های ماهواره‌ای MERRA، PERSIANN و CMORPH و داده‌های جمع‌آوری شده مشاهداتی است ولی همچنان در تخمین توزیع و میزان بارندگی ضعیف عمل کرده است. میزان NRMSE بارش در هر سه مقیاس زمانی عالی و زیر ده درصد است. میزان قدر مطلق MBE نیز به صفر نزدیک است که بیانگر توافق بالای داده‌های مدل و دیدبانی است. مقدار ضریب توافقی (d) در مقیاس ۱۴ روزه ۰/۸۱ و در



شکل ۶- مقایسه بارش داده‌های AgMERRA و مشاهداتی ایستگاه های زابل، زهک و

زاهدان در مقیاس های مختلف زمانی

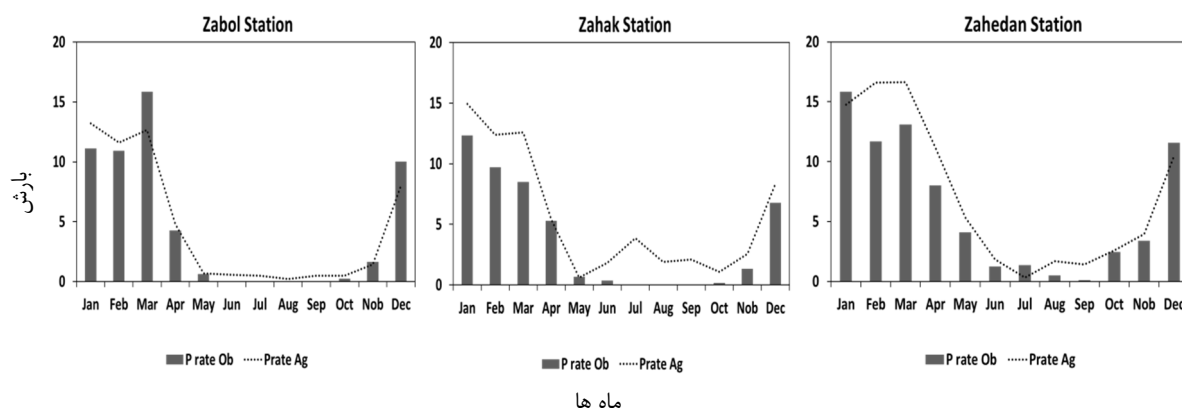
جدول ۱- مقایسه متغیرهای اقلیمی بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل و دمای میانگین روزانه، ۱۴ روزه و ماهانه با مقادیر دیدبانی متناظر در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل			دمای میانگین										
	R ²	RMSE	NRMSE	MBE	d	R ²	RMSE	NRMSE	MBE	d	R ²	RMSE	NRMSE	MBE	d					
زاهدان	۰/۱۳۸	۱/۴۱۵	۸/۱۴۵	-۰/۰۰۱	۰/۵۳۲	۰/۹۶۳	۲/۲۷	۰/۰۷۳	-۱/۱۴	۰/۹۸۸	۰/۸۸۸	۳/۳۰۸	۰/۴۱۵	-۰/۳۰۱	۰/۹۶۸	۰/۹۶۴	۱/۹۰۲	۰/۰۸۳	-۰/۳۸۶	۰/۹۹۰
	۰/۱۷۸	۱/۱۶۱	۶/۴۱۵	-۰/۰۵۸	۰/۵۹۱	۰/۹۶۳	۲/۱۴۵	۰/۰۶۸	-۰/۰۸۸۲	۰/۹۸۹	۰/۸۹۷	۳/۱۲۳	۰/۱۹۷	-۰/۱۵۲	۰/۹۷۱	۰/۹۶۶	۱/۸۲۶	۰/۰۷۸	-۰/۱۹۱	۰/۹۹۱
	زاهدان	۰/۱۹۴	۱/۵۸	۶/۷۱۶	-۰/۰۳۴	۰/۶۱۱	۰/۹۴۷	۲/۱۲	۰/۰۷۷	-۰/۵۸۵	۰/۹۸۵	۰/۸۱۸	۴/۴۸۷	۰/۳۱۶	-۰/۲۵۷	۰/۹۴۹	۰/۹۲۸	۲/۳۷۴	۰/۱۲۲	۰/۳۷۲
زاهدان	۰/۵۱۴	۰/۳۰۷	۲/۱۰۶	۰/۰۰۴	۰/۸۱۴	۰/۹۸۷	۱/۶۱۲	۰/۰۵۳	-۱/۱۲۶	۰/۹۹۴	۰/۹۶۹	۱/۸۶۷	۰/۱۲۵	-۰/۳۳۵	۰/۹۸۹	۰/۹۶۶	۱/۰۹۷	۰/۰۴۹	-۰/۳۹۶	۰/۹۹۷
	۰/۵۳۹	۰/۲۸۳	۱/۶۰۵	-۰/۰۵۶	۰/۸۴۲	۰/۹۸۴	۱/۵۴۳	۰/۰۵۰	-۰/۸۴۸	۰/۹۹۴	۰/۹۷	۱/۷۶	۰/۱۱۴	-۰/۱۸۴	۰/۹۹۱	۰/۹۸۷	۱/۰۸۹	۰/۰۴۸	-۰/۱۷۷	۰/۹۹۷
	زاهدان	۰/۶۳۲	۰/۳۷۳	۱/۵۵۲	-۰/۰۳۰	۰/۸۸۳	۰/۹۸۲	۱/۲۸۷	۰/۰۴۷	-۰/۵۷۸	۰/۹۹۴	۰/۹۵۱	۱/۶۸۳	۰/۱۵۷	-۰/۲۸۰	۰/۹۸۷	۰/۹۸۰	۱/۳۱۴	۰/۰۶۷	۰/۲۸۱
زاهدان	۰/۷۳۰	۰/۱۸۲	۱/۱۹۱	-۰/۰۰۳	۰/۸۸۸	۰/۹۸۱	۱/۵۷۶	۰/۰۵۱	-۱/۱۴۹	۰/۹۹۳	۰/۹۸۲	۱/۵۵۰	۱/۱۰۳	۰/۳۱۳	۰/۹۹۲	۰/۹۹۱	۱/۱۶۱	۰/۰۵۲	۰/۴۳۱	۰/۹۹۶
	۰/۷۳۷	۰/۱۵۶	۰/۸۴۲	-۰/۰۶۰	۰/۹۱۰	۰/۹۸۵	۱/۴۷	۰/۰۴۱	-۰/۸۵۷	۰/۹۹۴	۰/۹۸۲	۱/۴۰۱	۰/۰۸۹	-۰/۱۵۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۰	۰/۹۳۵	۰/۰۴۰	-۰/۱۸۲	۰/۹۹۷
	زاهدان	۰/۷۴۹	۰/۱۹۹	۰/۸۳۳	-۰/۰۳۳	۰/۹۱۷	۰/۹۸۵	۱/۵۱۴	۰/۰۵۵	-۰/۶۲۵	۰/۹۹۱	۰/۹۷۴	۱/۱۸۵	۰/۱۰۸	-۰/۲۵۸	۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۱/۱۸۵	۰/۰۶۴	۰/۲۵۲

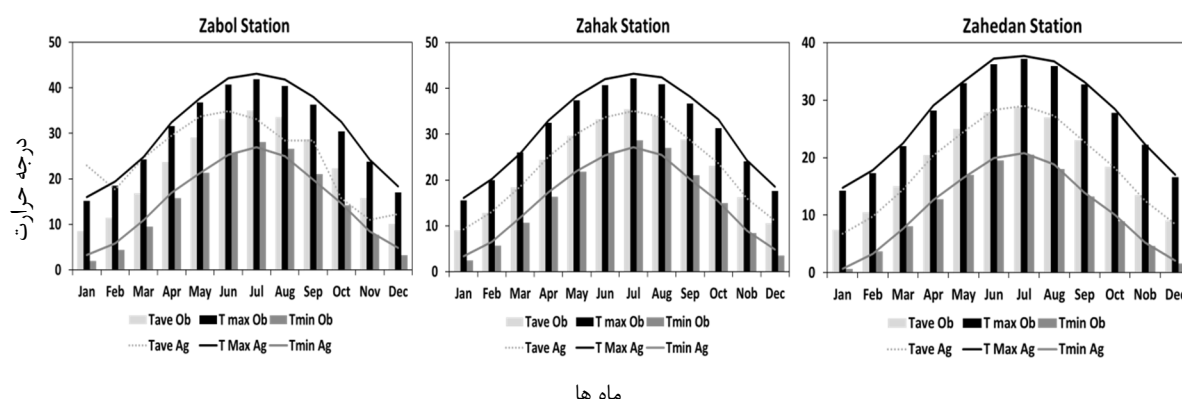
نشان‌دهنده تطابق الگوی تغییرات داده‌ها با یکدیگر است و تنها در مواردی اختلاف‌هایی میان داده‌های مدل و واقعی مشاهده شد. نتایج مطالعه‌ی لشکری و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی یازده ایستگاه سینوپتیک ایران نشان داد که تطابق توزیع احتمال و توزیع احتمال تجمعی بین داده‌های ایستگاهی و AgMERRA ضعیف است، اما شاخص‌های نکویی برازش بیانگر مطابقت خوبی میان داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. رضوی و همکاران هم مطالعه (۱۳۹۷) خود در بررسی چهار ایستگاه سینوپتیک افغانستان همین نتیجه را تایید کردند. نتایج شاخص‌های نکویی برازش در مطالعه یعقوبی و همکاران (۱۳۹۷) بر روی نه ایستگاه دشت مشهد هم نشان‌دهنده تطابق بالای داده‌های مدل و دیدبانی است.

بررسی روند بارش متوسط ماهانه (شکل ۷) و دماهای حداقل، حداکثر و میانگین (شکل ۸) نشان‌دهنده تبعیت مناسب و قابل قبول داده‌های AgMERRA از داده‌های مشاهداتی است. با این حال، در برخی ماه‌ها میزان پیش‌بینی کمتر و در برخی ماه‌ها بیشتر از میزان واقعی است. میزان بارش در ایستگاه زهک و در ایستگاه زاهدان به جز ماه‌های ژانویه و دسامبر بیشتر از میزان واقعی تخمین زده شده است. در ایستگاه زابل در ماه مارس و دسامبر کمتر و در بقیه ماه‌ها بیشتر از داده‌های مشاهداتی بوده است.

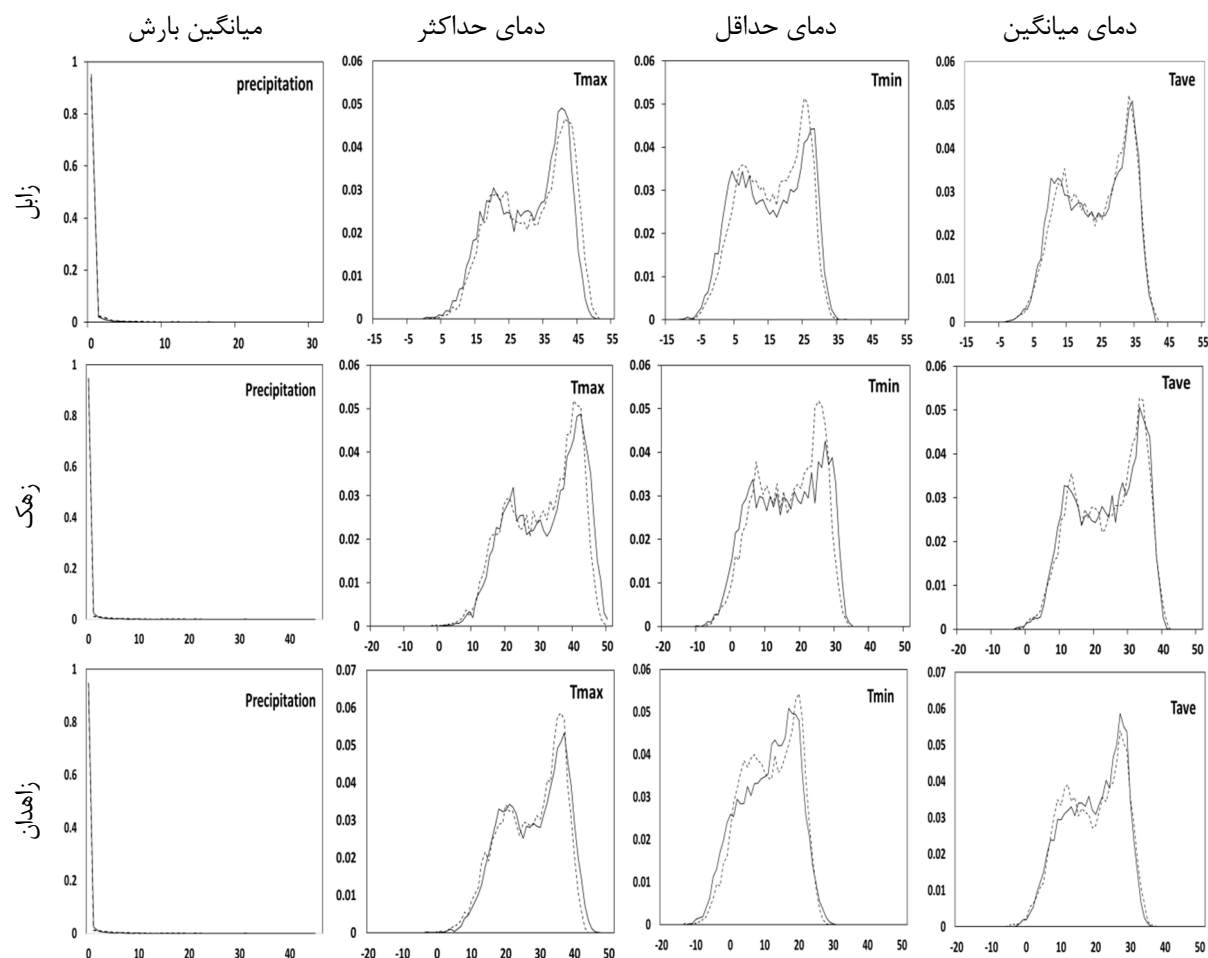
تبعیت داده‌های AgMERRA از الگو با استفاده از مقایسه‌ی توزیع احتمال تجمعی طی دوره‌ی آماری برای هر ایستگاه بررسی شد و نشان داد که داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده و مشاهداتی از روند مشابهی تبعیت می‌کنند (شکل ۹)، که به طور کلی



شکل ۷: مقایسه الگوهای بارش بین داده‌های AgMERRA و مشاهداتی در ایستگاه‌های مطالعاتی



شکل ۸: مقایسه الگوهای دمای حداقل، حداکثر و میانگین بین داده‌های AgMERRA و مشاهداتی در ایستگاه‌های مطالعات



شکل ۹: مقایسه ترکیب تابع توزیع احتمال میان داده‌های AgMERRA و چهار ایستگاه مورد مطالعه

نتیجه گیری

ارزیابی داده‌های پایگاه AgMERRA در برابر داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های سینوپتیک زابل، زهک و زاهدان به وسیله شاخص‌های نکویی برازش R^2 ، RMSE، NRMSE و d مشخص کرد که این مجموعه داده را می‌توان در شرایط کمبود داده برای پارامترهای دماهای حداقل، حداکثر و میانگین در همه‌ی مقیاس‌های زمانی مورد استفاده قرار داد. در مورد پارامتر بارندگی به دلیل همبستگی پایین بین مجموعه داده‌های مدل و دیدبانی نمی‌توان از آن در مقیاس‌های روزانه استفاده کرد. این داده‌ها در مقیاس ۱۴ روزه با اغماض و تصحیح داده با روش‌های آماری و در مقیاس ماهانه با اعتبار نسبتاً خوبی قابل استفاده و استناد هستند. این نتایج با نتایج مطالعات امکان‌سنجی استفاده از داده‌های AgMERRA در شرایط

کمبود داده در ایستگاه‌های سینوپتیک در مناطق مختلف از جمله افغانستان (رضوی و همکاران، ۱۳۹۷)، خراسان رضوی (یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۷) و خراسان رضوی (فرهادی و همکاران، ۱۴۰۰) همخوانی و مطابقت دارد.

با توجه به ارقام به دست آمده برای شاخص‌های مختلف نکویی برازش، داده‌های AgMERRA برای بررسی تغییرات دمایی در منطقه سیستان کاملاً قابل اعتماد است و در مورد پارامتر بارش برای افزایش دقت مطالعات می‌توان از ترکیب داده‌های این پایگاه و پایگاه‌هایی نظیر CRU و PERRSIAN بهره جست. بنابراین، داده‌های پایگاه AgMERRA به ویژه در منطقه سیستان با توجه به وسعت منطقه و کمبود ایستگاه‌های سینوپتیک، می‌تواند منبع مناسبی برای تأمین داده باشد.

بررسی تغییرات اقلیم در دوره های گذشته و آینده حاکم بر منطقه و تالاب از داده های پایگاه AgMERRA بهره برد، به‌ویژه به دلیل کمبود داده و یا عدم دسترسی به داده های اقلیمی حوضه بالادست تالاب که در کشور افغانستان قرار دارند داده های پایگاه مذکور بسیار حائز اهمیت هستند.

- زمینی، ماهواره GMP و MERRA (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف رود)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبریز. ۹ (۱۸): ۱۱۱-۱۲۲.
۷. غضنفری مقدم، م. ص. علیزاده، ا. موسوی بایگی، س. م.، فریدحسینی، ع. ر. و بنایان اول، م. ۱۳۹۰. مقایسه مدل PERSIANN با روش های درونیایی به منظور کاربرد در تخمین مقادیر بارندگی روزانه (مطالعه موردی، خراسان شمالی)، نشریه آب و خاک. ۲۵ (۱): ۲۰۷-۲۱۵.
۸. فرهادی، م.، جهان، م. و بنایان اول، م. ۱۴۰۰. بررسی اعتبار و امکان استفاده از داده های شبکه بندی شده AgMERRA برای مطالعات اقلیمی-کشاورزی در استان خراسان شمالی. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۱۹ (۲): ۲۰۱-۲۱۷.
۹. لشکری، ا. بنایان، م. کوچکی، ع. ر.، علیزاده، ا.، یانگ سای، ج. و ستون کی، پ. ۱۳۹۴. بررسی امکان سنجی استفاده از پایگاه داده AgMERRA برای ساخت داده های گمشده و ناقص موجود در ایستگاه های سینوپتیک (مطالعه موردی: دشت مشهد)، نشریه آب و خاک، ۲۹ (۶): ۱۷۴۹-۱۷۵۸.
۱۰. یعقوبی، ف. بنایان اول، م. و اسدی، ق. ۱۳۹۷. ارزیابی داده های شبکه بندی شده AgMERRA در شبیه سازی نیاز آبی گندم دیم در استان خراسان رضوی، نشریه آب و خاک. ۳۲ (۲): ۴۱۵-۴۳۱.
11. Ahmad, B., Haider, S., and Bukhari, S.A.A. 2015. Regional precipitation response to regional warming in past and future climate. Pakistan Journal of Meteorology, 11(22): 57-75.
12. Allen, R.J., and DeGAETANO, A.T. 2001. Estimating missing daily

همچنین با توجه به شباهت شرایط جغرافیایی منطقه سیستان با حوضه آبریز هلمند پایین، می توان از این داده ها برای مطالعات تغییرات اقلیمی این حوضه با اطمینان استفاده کرد. به علاوه قرار گرفتن تالاب بین المللی هامون و مساحت بیش از پانصد هزار هکتاری آن در دشت سیستان، پیشنهاد می شود برای

منابع

۱. بحرالعلوم، ر.، رضانی اعتدالی، ه.، عزیزیان، ا. و آبائی، ب. ۱۳۹۹. کاربرد اطلاعات پایگاه های داده های هواشناسی مختلف در برآورد عملکرد و نیاز آبی گندم (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله اکوهیدرولوژی. ۷ (۳): ۶۹۱-۷۰۶.
۲. جوکار، ل.، پناهی، ف.، ساداتی نژاد، س.ج. و شکیب، ع.ر. ۱۴۰۰. روند تغییرپذیری شاخص های حدی بارش در حوزه آبریز بختگان با استفاده از داده های AgMERRA و داده های ایستگاهی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۲ (۱): ۳۶۴-۳۸۱.
۳. رضوی، ا.ر.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.ر. و بهشتی، ع. ر. ۱۳۹۷. امکان سنجی استفاده از AgMERRA برای پرکردن خلأ داده های بارندگی و دما در ایستگاههای سینوپتیک افغانستان، نشریه آب و خاک. ۳۲ (۳): ۶۰۱-۶۱۶.
۴. رضانی اعتدالی، ه.، گرگین، ف. و کاکوند، پ. ۱۴۰۰. بررسی عملکرد دو پایگاه داده هواشناسی در تخمین ردپای آب گیاه ذرت، مطالعه موردی: دشت قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵ (۶): ۱۳۹۴-۱۴۰۳.
۵. زنگنه اینانلو، م. ر. قهرمان، ب. و فریدحسینی، ع. ر. ۱۳۹۷. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و اطلاعات بارش ماهواره های PERDIANN و CMORPH روش های درونیایی در مقیاس ساعتی و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز شاپور)، مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۴ (۴): ۱-۱۲.
۶. علی بخشی، س. م.، فریدحسینی، ع. ر.، داوری، ک.، علیزاده، ا. و هنری، م. ۱۳۹۷. ارزیابی داده های بارش

- Meteorological Society. 25(15): 1965-1978.
21. Hong, Y., Hsu, K. L., Sorooshian, S., and Gao, X. 2004. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. *Journal of Applied Meteorology*. 43(12): 1834-1853.
 22. Kira, O., Nguy-Robertson, A.L., Arkebauer, T.J., Linker, R., and Gitelson, A. A. 2017. Toward generic models for green LAI estimation in maize and soybean. *Satellite observations. Remote Sensing*. 9(4): 318. <https://doi.org/10.3390/rs9040318>.
 23. Lobell, D.B. 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. *Agricultural and forest meteorology*. 145(3-4): 229-238.
 24. Miao, C., Ashouri, H., Hsu, K.L., Sorooshian, S., and Duan, Q. 2015. Evaluation of the PERSIANN-CDR daily rainfall estimates in capturing the behavior of extreme precipitation events over China. *Journal of Hydrometeorology*. 16(3): 1387-1396.
 25. 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.
 26. Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Pionteke, F., Pugh, T.A.M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., and 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.
 27. Roy, T., Valdés, J. B., Lyon, B., Demaria, E. M., Serrat-Capdevila, A., temperature extremes using an optimized regression approach. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(11): 1305-1319.
 13. 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.
 14. Bender, F.D., and 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*.
 15. Bosilovich, M. G., Chen, J., Robertson, F. R., and Adler, R. F. 2008. Evaluation of global precipitation in reanalyses. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47(9): 2279-2299.
 16. 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.
 17. Burroughs, W., and Burroughs, W.S. 2003. *Climate: Into the 21st century*. Cambridge University Press.
 18. Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press on Demand.
 19. Hajihosseini, H., Hajihosseini, M., Morid, S., Delavar, M., and Booij, M.J. 2016. Hydrological assessment of the 1973 treaty on the transboundary Helmand river, using the SWAT model and a global climate database. *Water resources management*. 30(13): 4681-4694.
 20. Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P. G., and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: Journal of the Royal*

- River Basin. Remote Sensing. 11(3): 304. doi:10.3390/rs11030304.
32. Tardivo, G., and Berti, A. 2012. A dynamic method for gap filling in daily temperature datasets. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 51(6): 1079-1086.
 33. 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.
 34. Wang, G., Zhang, X., and Zhang, S. 2019. Performance of three reanalysis precipitation datasets over the Qinling-Data mountains, eastern fringe of Tibetan plateau, China. Advances in Meteorology.
 35. Willmott, C. J., and Matsuura, K. 1995. Smart interpolation of annually averaged air temperature in the United States. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 34(12): 2577-2586. <https://doi.org/10.1155/2019/7698171>.
 36. Zhu, Q., Xuan, W., Liu, L., and 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.
 - Gupta, H. V., Valdés-Pineda, r. and Durcik, M. 2018. Assessing hydrological impacts of short-term climate change in the Mara River basin of East Africa. Journal of Hydrology. 566: 818-829.
 28. Ruane, A. C., Goldberg, R., and Chrysanthacopoulos, J. 2015. Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation. Agricultural and Forest Meteorology. 200: 233-248.
 29. 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.
 30. Schneider, U., Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., and Ziese, M. 2011. GPCC full data reanalysis version 6.0 at 0.5: Monthly land-surface precipitation from rain-gauges built on GTS-based and historic data. GPCC Data Rep. http://dx.doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V6_050.
 31. 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