نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۹، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۸۷-۷۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 19, Apr.-May. 2025, p. 75-87

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در تخمین بارش ماهانه حوضه آبریز بالادست سد زاینده‌رود

فراهم کاظمی آذر[۱]، کیوان خلیلی[۲]*، حسین رضایی[۳]، رسول میرعباسی نجف آبادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲

چکیده

بارش یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژیکی است که توصیف کننده اقلیم منطقه و میزان آب تجدیدپذیر حوضه می‌باشد. هرچند تعداد کم ایستگاه‌های باران‌سنجی، پراکنش نامناسب آنها و همچنین طول کوتاه داده‌های مشاهداتی، بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش را با محدودیت مواجه ساخته است. با استفاده از داده‌های بازتحلیل می‌توان تا حد زیادی بر این محدودیت فائق آمد. ارزیابی صحت محصولات بارش ماهواره و تجزیه و تحلیل مجدد برای درک عدم‌قطعیت و کاربردهای بالقوه آنها بسیار مهم است. هدف از این مطالعه، ارزیابی عملکرد دو مجموعه داده بارش بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land، در تخمین بارش ماهانه در حوضه آبریز بالادست سد زاینده‌رود است. داده‌های بازتحلیل با داده‌های بارش متناظر اندازه‌گیری شده در پنج ایستگاه فریدونشهر، اسکندری، قلعه شاهرخ، اورگان و چلگرد در یک دوره زمانی ۳۵ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۸) مقایسه شدند. بدین منظور از آماره‌های ضریب تعیین، ضریب کارایی نش- ساتکلیف و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج نشان داد که بطور کلی داده‌های بازتحلیل می‌توانند الگوهای ماهانه مشاهده شده در بالادست سد زاینده‌رود را به خوبی توصیف کنند. با این وجود، در اغلب موارد داده‌های بازتحلیل مقادیر بارش را کمتر از مقدار واقعی تخمین زده‌اند که این موضوع در ایستگاه‌های پربارش و همچنین ماه‌های پربارش بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد که دقت داده‌های ERA5-land در همه ایستگاه‌ها بجز ایستگاه چلگرد بیشتر از داده‌های ERA5 بوده است. با توجه به دقت قابل قبول داده‌های بارش ماهانه ERA5 و ERA5-Land در بالادست سد زاینده رود، از این داده‌ها می‌توان به عنوان جایگزین مناسبی برای نقاط فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بارش در منطقه مورد مطالعه و یا به عنوان ورودی مدل‌های توزیعی بارش- رواناب استفاده کرد .

واژه‌های کلیدی: بارش، داده‌های بازتحلیل، زاینده‌رود، ERA5، ERA5-Land

مقدمه

اطلاعات دقیق و قابل اعتماد در مورد بارش از اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی منابع آب، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، مدیریت محیط زیست، مدیریت آبیاری، برنامه‌ریزی برای مقابله با خشکسالی و سایر برنامه‌ها برخوردار است (Zambrano et al., 2017; Huang et al., 2021; Sheffield et al., 2018). برای به دست آوردن سری زمانی بارش، منابع داده‌های مختلفی وجود دارد: (الف) مشاهدات زمینی، (ب) اطلاعات سنجش از دور (داده‌های رادارهای زمینی یا داده‌های ماهواره) و (ج) نتایج شبیه‌سازی‌های عددی (Tapiador et al., 2012). باران‌سنج ها رایج‌ترین و قابل اطمینان‌ترین روش برای اندازه‌گیری مستقیم بارش در مقیاس نقطه‌ای است. با این حال، تراکم و توزیع شبکه‌های باران‌سنجی در سراسر جهان به طور قابل توجهی متفاوت است. کشورهای توسعه یافته عموماً دارای شبکه‌های نسبتاً متراکم از ایستگاه‌های باران‌سنجی هستند، در مقابل در کشورهای در حال توسعه تعداد ایستگاه‌ها اغلب کم و حتی در برخی مناطق کوهستانی یا صعب‌العبور بدون ایستگاه هستند. لذا در این مناطق دسترسی به داده‌های بارش با تفکیک مکانی و طول آماری مناسب موضوعی چالش برانگیز است.

سنجش از دور با اندازه‌گیری اشعه منعکس شده و ساطع شده در یک فاصله، می‌تواند به طور غیرمستقیم اطلاعات مربوط به بارش را بدون برقراری تماس فیزیکی بدست آورد. با توجه به توانایی تشخیص

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳ - استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: k.khalili@urmia.ac.ir

بارش در پوشش مکانی گسترده در تمام شرایط آب و هوایی، روش‌های مبتنی بر ماهواره به روش‌های مهم سنجش از دور برای جمع‌آوری پیوسته داده‌های بارش در مناطق بزرگ تبدیل شده‌اند. تاکنون یک شبکه ماهواره‌ای هواشناسی جهانی از طریق همکاری‌های بین‌المللی ایجاد شده است و تعداد زیادی از داده‌ها جمع‌آوری شده است. شبیه‌سازی مدل عددی یکی دیگر از روش‌های مهم برای به دست آوردن اطلاعات مکانی و زمانی پیوسته از بارش در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای است. داده‌های بازتحلیل، مبتنی بر یک روش علمی است که داده‌های مشاهده‌ای جوی تاریخی را با خروجی مدل‌های پیش‌بینی آب و هوای عددی تلفیق می‌کند و داده‌های زمینی با کیفیت بهبود یافته را در یک دوره زمانی طولانی در مقایسه با منابع داده‌های نقطه‌ای تولید می‌کند. با توجه پوشش مکانی گسترده و پیوسته، محصولات بارش ماهواره بازتحلیل، فرصتی بی‌سابقه برای غلبه بر محدودیت‌های شبکه‌های باران‌سنجی زمینی که از تراکم ناکافی برخوردارند، فراهم می‌کنند و پتانسیل خوبی در طیف گسترده‌ای از کاربردها نشان داده‌اند. همچنین با توجه به این که مدلهای هیدرولوژیکی توزیعی و نیمه توزیعی به داده های سلولی نیاز دارند، لذا ارزیابی داده‌های بازتحلیل برای استفاده در این مدلها از اهمیت زیادی برخوردار است.

در دهه‌های گذشته، داده‌های بازتحلیل آب و هوا به طور گسترده در بسیاری از زمینه‌ها مانند پیش‌بینی بارش، پیش‌بینی دما، پایش رطوبت خاک، پایش اقیانوس‌ها و حفاظت از محیط‌زیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند که همگی از قوانین فیزیک برای ترکیب داده‌های مدل با مقادیر اندازه گیری شده در سراسر جهان برای ایجاد یک مجموعه داده جهانی کامل استفاده کرده‌اند. داده‌های باز تحلیل از ترکیب نتایج شبیه‌سازی‌های کوتاه‌مدت مدل‌های شبیه‌سازی عددی وضع هوا با داده‌های مشاهداتی زمینی به دست می‌آیند. این داده‌ها با وضوح مکانی-زمانی بالا می‌توانند به طور مؤثری فقدان مشاهدات مستقیم بارش زمینی را جبران کنند.

نسل پنجم داده‌های بازتحلیل آب و هوای جهانی، ERA5، که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های با برد متوسط (ECMWF) منتشر شده است، مقادیر زیادی از مشاهدات تاریخی را با استفاده از مدل‌سازی پیشرفته و سیستم‌های شبیه‌سازی داده‌ها در تخمین‌های جهانی ترکیب می‌کند. اگرچه چندین گروه داده‌های جوی بازتحلیل در مقیاس جهانی را تولید می‌کنند (مثل محصولات بازتحلیل MERRA-2، JRA-55 و CFSR)، اما بسیاری از مطالعات نشان داده است که ERA5 بهترین یا یکی از بهترین محصولات بازتحلیل است. برای مثال، تانگ و همکاران برای ارزیابی دقت بارش برف IMERG، دو محصول بازتحلیل (ERA5 و ERA5-Interim) و مشاهدات باران‌سنجی از تحلیل هم‌سویی سه‌گانه[1] استفاده کردند (Tang et al., 2020). نتایج نشان می‌دهد که دقت داده‌های بارش برف IMERG نسبت به داده‌های بازتحلیل و اندازه‌گیری‌های زمینی کمتر است. با توجه به اینکه محصولات بارش ماهواره و بازتحلیل از اندازه‌گیری غیرمستقیم بارش و شبیه‌سازی حاصل می‌شوند، دارای خطاهایی هستند که در مناطق مختلف، فصول مختلف و مراحل بارش متفاوت است. لذا قبل از کاربرد محصولات بارش ماهواره‌ای و بازتحلیل برای مطالعات مختلف لازم است، دقت این داده‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند و در صورت نیاز خطای آنها تعدیل گردد. تاکنون مطالعات زیادی در نقاط مختلف جهان به بررسی و ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای و بازتحلیل پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

شریفی و همکاران دقت داده‌های TMPA-3B42، GPM-IMERG و ERA-interim را در چهار منطقه ایران با وضعیت توپوگرافی اقلیم متفاوت (تهران، گیلان، کرمانشاه و بوشهر) با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مقایسه قرار دادند (Sharifi et al., 2016). نتایج نشان داد که هر سه محصول بارش در مقایس زمانی دارای کم‌برآورد هستند، هرچند محصول GPM-IMERG نسبت به دو منبع دیگر از دقت بالاتری در برآورد بارش‌های سبک و حدی، در مقیاس‌های زمانی مختلف برخوردارند. همچنین محصول بارشی IMERG نتایج بهتری را برای تشخیص رویدادهای بارشی در مناطق دارای بارش چینه‌ای و کوه‌شناختی مانند تهران و کرمانشاه ارائه داد. دنگ و همکاران دقت داده‌های شبکه‌بندی مبتنی بر ماهواره CMORPH و داده‌های بازتحلیل NCEP-2 در مقیاس‌های ماهانه و فصلی در مناطق مختلف چین را با هم مقایسه کردند (Deng et al., 2018). نتایج نشان داد که در جنوب چین داده‌های NCEP-2 در فصل تابستان خطای بیشتری دارند، در حالی که داده‌های CMORPH در سراسر مناطق غربی و شمال غربی چین در همه فصول از دقت پایینی برخوردارند. یانگ و همکاران عملکرد سه محصول IMERG مبتنی بر ماهواره (Early Run, Late Run, and Final Run) را در تشخیص رویدادهای بارش معمولی، سنگین و حدی ارزیابی کردند (Yang et al., 2020). نتایج نشان داد که محصولات IMERG در تشخیص رویدادهای بارش معمولی از عملکرد بهتری نسبت به رویدادهای بارش شدید و حدی برخوردار است. جیائو و همکاران عملکرد زمانی و مکانی داده‌های بارش ERA5 را از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ بر اساس داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه هواشناسی شبکه‌ای در سراسر چین ارزیابی کردند (Jiao et al., 2021). نتایج نشان داد که داده‌های ERA5 می‌توانند الگوهای سالانه و فصلی بارش مشاهده شده در چین را به خوبی توصیف کنند.

1- Triple Collocation Analysis

لاورز و همکاران دقت داده‌های بارش ERA5 در برابر مشاهدات ایستگاهی برای تعیین سودمندی آن برای فعالیت‌های پایش آب و هوا ارزیابی کردند (Lavers et al., 2022). با استفاده از مشاهدات ۲۴ ساعته بارش در ۵،۶۳۷ ایستگاه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰، نتایج نشان داد که کوچکترین خطاهای تصادفی ERA5 در عرض‌های میانی فراتر از مناطق استوایی در زمستان رخ می‌دهد و بزرگترین خطاهای ERA5 در مناطق استوایی است. نتایج نشان داد که کاربران می‌توانند به بارش ERA5 در مناطق واقع در عرض‌های میانی اعتماد داشته باشند، بنابراین توصیه شد که ERA5 بیشتر برای پایش بارش در عرض‌های میانی استفاده شود. ژی و همکاران تأثیر خطاهای سیستماتیک در اندازه‌گیری داده‌های زمینی را بر ارزیابی IMERG و ERA5-Land در کشور چین مورد بررسی قرار دادند (Xie et al., 2022). با حذف اریب منفی از داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی، مجموعه داده زمینی به‌روز شده بعنوان مرجع ارزیابی عملکرد IMERG و ERA5-Land استفاده شد. الکساندریدیس و همکاران عملکرد دو مجموعه داده بارش بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land را در بازتولید بارش تجمعی در یونان ارزیابی کردند (Alexandridis et al., 2023). این داده‌ها با مقادیر بارش مشاهداتی توسط شبکه متراکم از ایستگاه‌های هواشناسی خودکار در طی یک دوره ۱۰ ساله (ژانویه ۲۰۱۰ تا دسامبر ۲۰۲۰) در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف مقایسه شدند. نتایج حاکی از دقت خوب داده‌های بارش بازتحلیل در توصیف تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش در یونان بود. کوکالیس و همکاران داده‌های بازتحلیل ERA5 و NCEP مربوط به بارش و رطوبت خاک را در یک منطقه نیمه‌خشک در کویت مورد ارزیابی قرار دادند (Kokkalis et al., 2024). نتایج نشان داد که داده‌های NCEP مقادیر بارش را بیشتر برآورد می‌کنند، در حالیکه داده‌های ERA5 از دقت خوبی در هر دو شرایط بارش‌های جبهه‌ای و همرفتی برخوردار بوده است. لذا می‌تواند بعنوان یک منبع داده بارش جایگزین به ویژه در مناطقی با پوشش ایستگاه هواشناسی محدود مورد استفاده قرار گیرد.

رضئی و ستوده (۱۳۹۶) به منظور ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهانه ERA-Interim در سطح ایران، از داده‌های ۴۵ ایستگاه سینوپتیک در سراسر کشور استفاده کردند. نتایج نشان داد که دقت داده‌های ERA-Interim در بیش از ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه بسیار خوب بوده است، با این حال محصول ERA-Interim مقدار بارش را در مناطق ساحلی خزر و خلیج فارس کمتر از مقدار واقعی و در شمال غرب و شمال شرق کشور بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) عملکرد داده‌های بارش بازتحلیل ERA5 را در مقایس روزانه و ماهانه در استان اردبیل ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در مقیاس روزانه در اکثر سلول‌های مورد بررسی ضریب همبستگی برای منبع بارش ERA5 بیشتر از ۰/۷۵ و مقدار RMSE نیز کمتر از ۳ میلی‌متر بود. در مقیاس ماهانه نیز مقدار ضریب همبستگی برای منبع ERA5 بیشتر از ۰/۸ و شاخص RMSE نیز برای منبع بارش ERA5 در اکثر سلول‌های مورد بررسی، کمتر از ۲۰ میلی‌متر بود. آنها نتیجه گرفتند که محصول بارشی ERA5 در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه می‌تواند بعد از اعمال تصحیحات اریبی به عنوان جایگزین مناسبی برای نقاط فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بارش در سطح استان اردبیل مورد استفاده قرار گیرد. حیدری و همکاران (۱۴۰۳) دقت داده‌های بارش ماهانه ERA5 را در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که پایگاه داده‌های بارش از دقت خوبی برخوردار بودند، هرچند در ماه‌های آگوست تا اکتبر و جولای کم‌برآوردی داشتند.

تاکنون در مطالعات معدودی دقت داده‌های بازتحلیل ERA5-Land در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. غلامی و همکاران (۱۴۰۲) عملکرد دو پایگاه داده بارش ماهواره‌ای CHIRPS و پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land را در برخی ایستگاه‌های ایران مورد ارزیابی قرار دادند و از آنها برای محاسبه شاخص بارش استانداردشده (SPI) به منظور آشکارسازی خشکسالی‌های ایران استفاده کردند. نتایج نشان داد که هر دو پایگاه داده در گام‌های زمانی ۱ تا ۱۲ ماهه در سرتاسر ایران بجز مناطق شمالی کشور، از همبستگی خوبی با داده‌های ایستگاهی برخوردارند. با این حال در گام‌های زمانی بالاتر (۲۴–۷۲ ماهه) داده‌های ERA5-Land از عملکرد بهتری نسبت به داده‌های CHIRPS برخوردار بودند. در مطالعه دیگر، باریده و همکاران (۱۴۰۳) عملکرد مجموعه داده‌های بارش جهانی CHIRPS و ERA5-Land را در ۱۳ ایستگاه هواشناسی در محدوده حوضه دریاچه ارومیه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، هر دو مجموعه داده جهانی CHIRPS و ERA5-Land با میانگین ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۴ از دقت خوبی برخوردارند.

حوضه آبریز زاینده‌رود به عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های کشور از نظر تولیدات صنعتی و کشاورزی می‌باشد و جمعیت قابل توجهی را در خود جای داده است. این حوضه همواره در معرض نوسانات اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی بوده است و برداشت بیش از حد از منابع آب سطحی و زیرزمینی، باعث بروز کمبود آب و مشکلات زیست‌محیطی در سال‌های اخیر شده است. از این رو، برآورد دقیق و مستمر بارش به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل‌های هیدرولوژیکی، برای مدیریت بهینه منابع آب این حوضه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عمده بارش در حوضه زاینده‌رود در مناطق بالادست این حوضه رخ می‌دهد و با جریان در بستر رودخانه به مناطق پایین‌دست که مصرف‌کنندگان عمده منابع آب این حوضه هستند، منتقل می شود. لذا تخمین دقیق بارش در این منطقه می‌تواند به مدیران محلی در اتخاذ تصمیمات بهینه برای تخصیص آب،

بهینه‌سازی مصرف و پیش‌بینی خشکسالی‌ها، بهبود برنامه‌ریزی‌های آبی و کشاورزی کمک کند. همچنین اطلاعات دقیق بارش می‌تواند باعث بهبود دقت مدل‌های هیدرولوژیکی شود و داده‌های شبکه بندی شده بارش اجرای مدل‌های توزیعی بارش- رواناب در حوضه را امکان‌پذیر می‌کند. با توجه به پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه زاینده‌رود، استفاده از داده‌های بازتحلیل عددی همچون ERA5 و ERA5-Land به عنوان مکمل داده‌های ایستگاهی، می‌تواند در بهبود دقت برآورد بارش و کاهش عدم‌قطعیت در مدل‌سازی هیدرولوژیکی مؤثر باشد.

هدف از این مطالعه، ارزیابی عملکرد دو مجموعه داده بارش بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land، در تخمین بارش ماهانه در حوضه آبریز بالادست سد زاینده‌رود با مقایسه آنها با داده‌های مشاهداتی در یک دوره ۳۵ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۸) در مقیاس زمانی ماهانه می‌باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، حوضه بالادست سد زاینده‌رود است. مساحت این حوضه ۳۳۶۵ کیلومتر مربع است و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۲۰۵۰ تا ۳۸۵۰ متر تغییر می‌کند. در شکل ۱ موقعیت حوضه مورد مطالعه در ایران و در استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری نشان داده شده است. همچنین موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در شبکه‌بندی داده‌های ERA5 و ERA5-Land نشان داده شده است. ابعاد سلول‌های داده‌های ERA5 برابر ۰/۲۵ درجه و ابعاد سول‌های داده‌های ERA5-Land برابر ۰/۱ درجه می‌باشند. در این مطالعه، داده‌های بارش روزانه ثبت شده در پنج ایستگاه فریدونشهر، قلعه شاهرخ، اسکندری، اورگان و چلگرد در دوره زمانی ۳۵ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۸) از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردید (جدول ۱). دلیل انتخاب دوره زمانی مذکور، وجود داده‌های ثبت شده در هر پنج ایستگاه در این دوره زمانی بود. در مرحله بعد داده‌های روزانه تجمیع و مقدار بارش مطابق با تقویم میلادی برای هر ماه بدست آمد. همچنین داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در مقیاس ساعتی از سایت https://cds.climate.copernicus.eu دانلود و به مقیاس ماهانه تبدیل شد. قابل ذکر است که داده‌های ساعتی ERA5 در فرمت NetCDF با استفاده از کدنویسی در محیط برنامه‌نویسی R (کتابخانه ncdf4) به فرمت CSV در هریک از ایستگاه‌های هواشناسی تبدیل گردید. سپس داده‌های ساعتی با استفاده از ماکرونویسی در محیط Excel به داده‌های روزانه تبدیل و با تجمیع آنها سری زمانی داده‌های ماهانه در سلولی که ایستگاه موردنظر واقع شده بود، بدست آمد. با توجه به اینکه داده‌های ساعتی ERA5-Land در هر ساعت از یک شبانه روز به صورت تجمعی نسبت به ساعت ۰۰:۰۰ می‌باشد، میزان بارش روزانه با میزان بارش مربوط به ساعت ۰۰:۰۰ در روز بعد برابر است.

منبع بارش ERA5

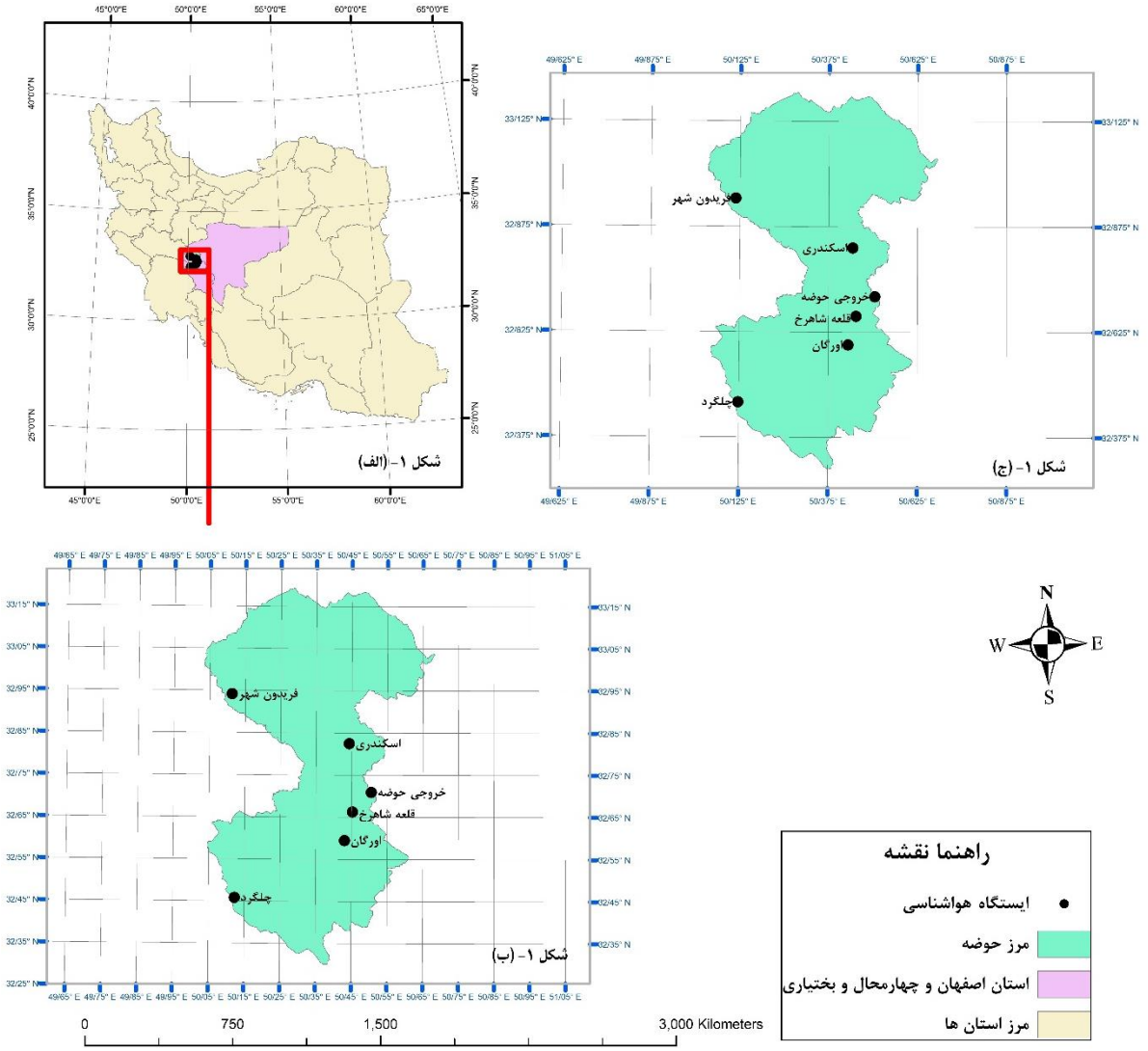
داده‌های بازتحلیل حاصل ترکیب داده‌های مستخرج از مدل‌های اتمسفری و خروجی پیش‌بینی‌های جوی با داده‌های مشاهداتی اندازه‌گیری شده هستند که در نهایت به صورت یک پایگاه داده‌ای منسجم و با طول دوره آماری بالا از پارامترهای اتمسفری و محیطی در مقیاس جهانی ارائه می شوند. ERA5 پنجمین نسل از داده‌های جوی بازتحلیل است که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های آب و هوایی با برد متوسط (ECMWF) تولید می‌شود و دوره زمانی از سال ۱۹۵۰ تاکنون را پوشش می‌دهد. این داده‌ها به صورت شبکه‌بندی شده و با تفکیک مکانی ۳۱ کیلومتر ارائه می‌شود (Hersbach et al., 2020). مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های آب و هوایی با برد متوسط (ECMWF)، یک سازمان بین‌المللی پیشرو در پیش‌بینی آب و هوا در جهان که توسط ۳۴ کشور جهان پشتیبانی می‌شود.

ERA5 در واقع یک محصول به‌روزرسانی شده از ERA-Interim با وضوح مکانی و زمانی بالاتر است که از ۱۰ مؤلفه با وضوح زمانی ۳ ساعت و وضوح مکانی ۳۱ کیلومتر برای ارزیابی عدم‌قطعیت جوی استفاده می‌کند. این ویژگی جدید مبتنی بر سیستم تجمیع و همسان‌سازی داده‌ها[1] (EDA) است که توسط ECMWF تهیه شده است و می‌تواند خطاها را در مدل‌های مشاهده و پیش‌بینی توضیح دهد و در هنگام تجزیه و تحلیل پارامترهای جوی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف، قطعیت بیشتری به کاربران می‌دهد. ERA5 بیشتر از داده‌های مشاهداتی، به ویژه داده‌های ماهواره‌ای، در سیستم های پیشرفته جذب و مدل‌سازی داده‌ها برای برآورد شرایط دقیق جوی استفاده می‌کند (Meng et al., 2018). داده‌های ERA5 در مناطق مختلف ارزیابی و اعمال شده است، اما عملکرد متناقض است، هرچند اغلب تحقیقات انجام شده نشان داده‌اند که میزان خطای این منبع اطلاعاتی در مقایسه با داده‌های زمینی در بسیاری از نقاط جهان اندک و قابل چشم‌پوشی است. لذا لازم است برای هر منطقه دقت آن مورد ارزیابی قرار گیرد. در صورت دقت مناسب می‌توان از آنها در کنار داده‌های زمینی و حتی به عنوان جایگزینی برای داده‌های زمینی در مناطق بدون ایستگاه استفاده نمود. در این مطالعه، از داده‌های بارش ساعتی ERA5 در شبکه‌ای به ابعاد ۰/۲۵ درجه در ۰/۲۵ درجه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲ استفاده می‌شود.

1- Data assimilation aggregation

منبع بارش ERA5-Land

ERA5-land به عنوان یک مجموعه داده جهانی پیشرفته برای مؤلفه زمین نسل پنجم ERA5 که از سال ۲۰۲۲ تولید می‌شود. مجموعه داده ERA5-Land برای استفاده عمومی از سال ۱۹۵۰ تا ۵ روز قبل از تاریخ فعلی در دسترس است. ERA5-Land یک مجموعه داده بازتحلیل ساعتی از متغیرهای سطح زمین است که یک دیدگاه ثابت از تکامل متغیرهای زمینی در طی چندین دهه با وضوح بهبود یافته (ابعاد شبکه تقریبا ۹ کیلومتر) در مقایسه با ERA5 ارائه می‌دهد.



شکل ۱- (الف) موقعیت حوضه بالادست سد زاینده‌رود در ایران و استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری و ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب، (ب) موقعیت منطقه مورد مطالعه با گرید ۰/۱ درجه منطبق بر گریدبندی داده‌های ERA5-Land و (ج) با گرید ۰/۲۵ درجه منطبق بر گریدبندی داده‌های ERA5.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه و میانگین بارش سالانه در دوره ۲۰۲۲-۱۹۸۸

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	میانگین بارش سالانه (mm)
فریدونشهر	50° 6'46.81"E	32°56'31.20"N	۲۵۶۵	۵۶۸/۰
اسکندری	50°26'34.82"E	32°49'29.97"N	۲۱۵۵	۳۷۱/۸
قلعه شاهرخ	50°27'10.81"E	32°39'46.79"N	۲۰۸۵	۳۹۲/۷
اورگان	50°25'52.00"E	32°35'41.00"N	۲۱۸۰	۵۲۷/۵
چلگرد	50° 7'22.98"E	32°27'30.98"N	۲۳۵۵	۱۳۵۱/۷

ERA5-Land برای کنترل زمینی ERA5 شبیه‌سازی شده از متغیرهای جوی مانند دمای هوا و رطوبت هوا به عنوان ورودی استفاده می‌کند که به آن در اصطلاح اجبار جوی می‌گویند. بدون اعمال اجبار جوی، تخمین‌های مبتنی بر مدل ممکن است به سرعت از واقعیت منحرف شوند. بنابراین، در حالی که داده‌های مشاهداتی مستقیماً در تولید ERA5-Land استفاده نمی‌شوند، اما بواسطه اعمال اجبار جوی بطور غیرمستقیم بر شبیه‌سازی تأثیر دارند. علاوه بر این، متغیرهای ورودی مثل دمای هوا، رطوبت هوا و فشار مورد استفاده در اجرای ERA5-Land برای لحاظ کردن اختلاف ارتفاع بین شبکه اجباری و شبکه با وضوح بالاتر ERA5-Land اصلاح می‌شوند. به دلیل وضوح زمانی و مکانی ERA5-Land، این مجموعه داده برای انواع کاربردهای سطح زمین مانند پیش‌بینی سیل یا خشکسالی بسیار مفید است. تفکیک زمانی و مکانی این مجموعه داده، دوره زمانی تحت پوشش و همچنین شبکه ثابتی که برای توزیع داده‌ها در هر دوره استفاده می‌شود، به کاربران امکان می‌دهد به اطلاعات دقیق تری در مورد وضعیت‌های زمین دسترسی داشته باشند و از آنها استفاده کنند. در این مطالعه، از داده‌های بارش ساعتی ERA5-Land در شبکه ای به ابعاد ۰/۱ درجه در ۰/۱ درجه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲ استفاده می‌شود. در شکل ۱ (ب و ج) بترتیب گریدبندی منطقه مورد مطالعه منطبق بر داده های ERA5-Land و ERA5 نشان داده شده است.

ارزیابی داده‌های بازتحلیل بارش

در این مطالعه، داده‌های بارش به دست آمده از هر ایستگاه بارانسنجی به طور مستقیم و بدون هیچ تصحیحی با میزان بارش نزدیک‌ترین سلول شبکه در هر محصول بازتحلیل مقایسه شد که به این روش ایستگاهی- سلولی گفته می‌شود (Sharifi et al., 2016، عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹). برای ارزیابی دقت و عملکرد مجموعه داده‌های بازتحلیل شبکه، از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NSE) با روابط زیر استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\left(P_{grid(i)}-P_{obs(i)}\right)^2}{\left(P_{grid(i)}-\bar{P}_{obs}\right)^2}\right] \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}}\sum_{i=1}^{n}\left(P_{grid(i)} - P_{obs(i)}\right)^2 \quad (۲)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_{grid(i)}-P_{obs(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(P_{obs(i)}-\bar{P}_{obs}\right)^2} \quad (۳)$$

که در آن، n طول داده ها، $P_{grid(i)}$ مقدار داده بارش بازتحلیل برای رویداد ماهانه i ام است، $P_{obs(i)}$ مقدار بارش اندازه‌گیری شده برای رویداد ماهانه i ام است و $\bar{P}_{obs}$ میانگین مقادیر بارش مشاهداتی در دوره زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲ می‌باشند.

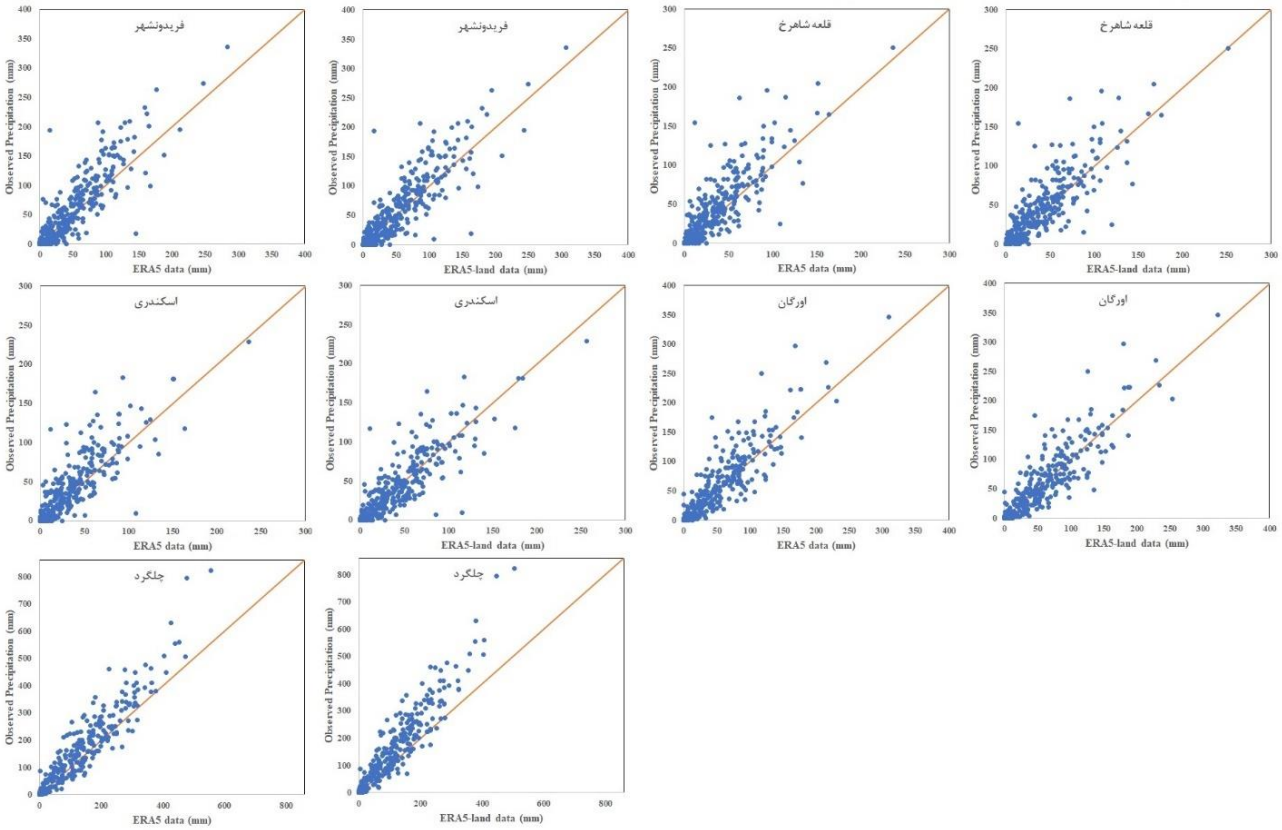
نتایج و بحث

نتایج مقایسه داده‌های بارش ماهانه ERA5 و ERA5-Land در ایستگاه‌های حوضه بالادست سد زاینده‌رود در دوره زمانی ۲۰۲۲-۱۹۸۸ در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، بر اساس معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به جز ایستگاه چلگرد، در بقیه ایستگاه‌ها، دقت داده‌های ERA5-Land از داده‌های ERA5 بیشتر است. بر اساس آماره ضریب تعیین (R^2) در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه فریدونشهر، دقت داده‌های ERA5-Land بیشتر از داده‌های ERA5 بوده است. هرچند در ایستگاه چلگرد مقدار آماره ضریب تعیین برای هر دو پایگاه داده برابر (R^2=۰/۹۰۷) بوده است. نتایج ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NSE) مشابه با نتایج آماره RMSE بوده و در همه ایستگاه‌ها، بجز ایستگاه چلگرد، کارایی پایگاه داده ERA5-Land در تخمین بارش ماهانه بهتر از ERA5 بوده است. بطور کل می‌توان گفت که عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در ایستگاه پربارش چلگرد بهتر از ERA5-Land بوده است ولی در چهار ایستگاه دیگر که مقدار بارش سالانه‌شان یک سوم تا یک چهارم ایستگاه چلگرد است، پایگاه داده ERA5-Land تخمین بهتری از بارش ماهانه ارائه کرده است.

جدول ۲- آماره‌های ارزیابی داده‌های بارش ماهانه ERA5 و ERA5-Land در ایستگاه‌های حوضه بالادست سد زاینده رود در دوره زمانی ۲۰۲۲-۱۹۸۸.

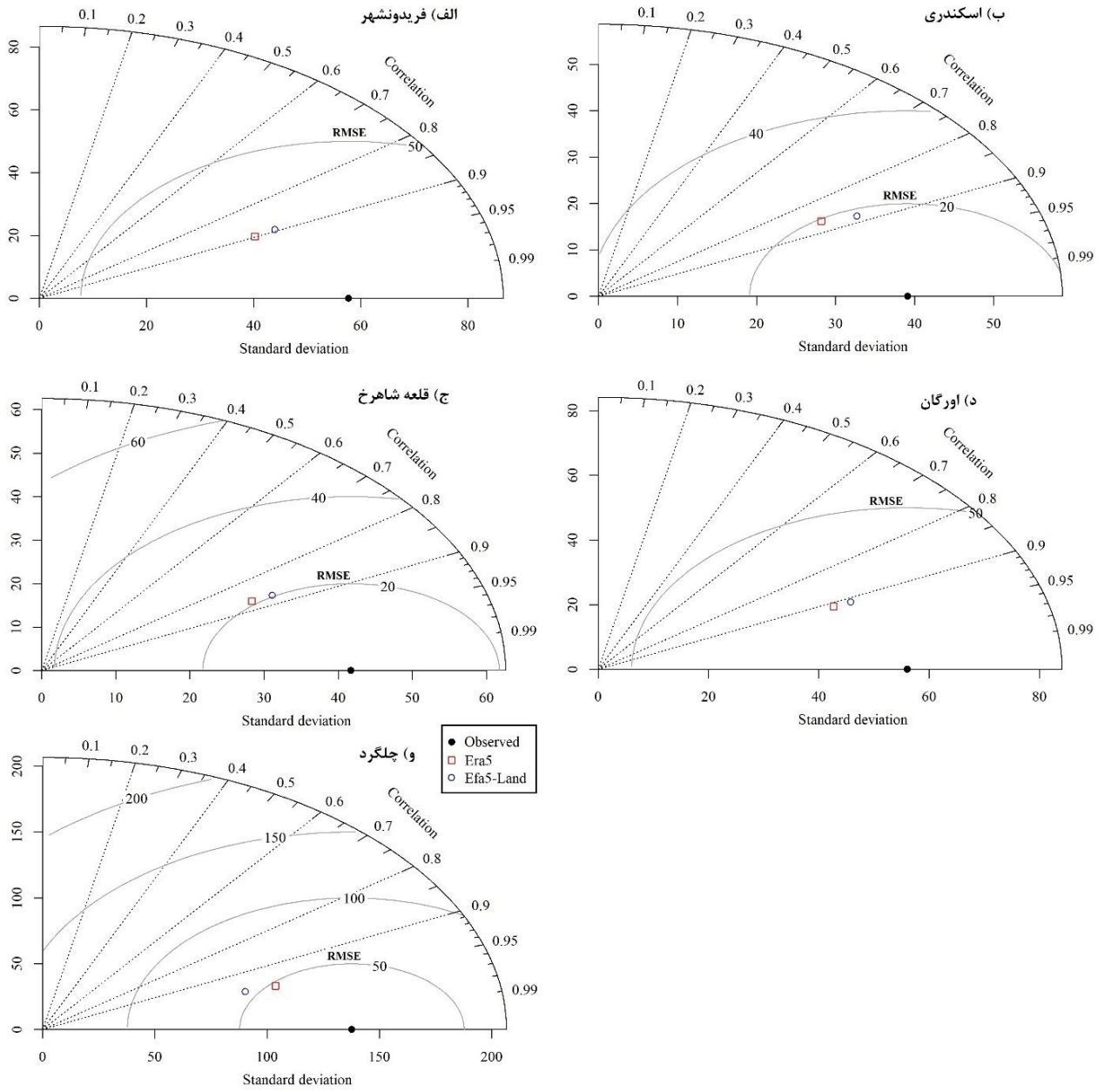
	ERA5					ERA5-Land				
آماره	فریدونشهر	اسکندری	قلعه شاهرخ	اورگان	چلگرد	فریدونشهر	اسکندری	قلعه شاهرخ	اورگان	چلگرد
RMSE (mm)	۲۷/۲۹	۲۰/۰۲	۲۱/۶۶	۲۴/۱۲	۵۱/۱۵	۲۶/۱۵	۱۸/۴۵	۲۰/۵۶	۲۳/۲۲	۶۳/۲۸
R^2	۰/۸۰۷	۰/۷۵۱	۰/۷۵۹	۰/۸۲۷	۰/۹۰۷	۰/۸۰۱	۰/۷۸۱	۰/۷۶۴	۰/۸۲۹	۰/۹۰۷
NSE	۰/۷۷۷	۰/۷۳۸	۰/۷۳۰	۰/۸۱۵	۰/۸۶۲	۰/۷۹۵	۰/۷۷۸	۰/۷۵۷	۰/۸۲۹	۰/۷۸۹

در شکل ۲ مقادیر بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه با مقادیر متناظر داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در اغلب ماه‌ها داده‌های بازتحلیل مقادیر بارش را کم برآورد کرده‌اند که این موضوع در ایستگاه چلگرد بیش از ایستگاه‌های دیگر است. شریفی و همکاران در ارزیابی داده‌های بازتحلیل ERA-Interim در گیلان و کرمانشاه نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Sharifi et al., 2016). شکل ۲ نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌ها بجز ایستگاه چلگرد، مقادیر داده‌های ERA5-Land به نیمساز ۴۵ درجه نزدیک‌تر از داده‌های ERA5 است و این نشان‌دهنده دقت بالاتر داده‌های ERA5-Land در این ایستگاه‌ها است. دلیل این موضوع تفکیک مکانی بالاتر داده‌های ERA5-Land نسبت به داده‌های ERA5 می‌باشد. هرچند در ایستگاه چلگرد، مقادیر داده‌های ERA5 به نیمساز ۴۵ درجه نزدیک‌تر هستند. بطور کلی در همه ایستگاه‌ها با افزایش مقادیر بارش، فاصله از نیمساز ۴۵ درجه افزایش یافته است که نشان‌دهنده دقت کمتر داده‌های بازتحلیل در تخمین بارش‌های حداکثر می‌باشد.



شکل ۲- نمودار پراکندگی بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در برابر داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در دوره ۲۰۲۲-۱۹۸۸

برخی مواقع، آماره‌های مختلف در مقایسه بین داده‌های بازتحلیل، نتایج متفاوتی ارائه می‌کنند، برای غلبه بر این مشکل می‌توان از دیاگرام تیلور استفاده کرد. دیاگرام‌های تیلور یک نمودار ریاضی است که به صورت گرافیکی نشان می‌دهند که کدام یک از چند داده بازتحلیل مورد بررسی به مقادیر مشاهداتی نزدیک‌تر است (Taylor, 2001). با استفاده از این دیاگرام می‌توان میزان مطابقت بین رفتار مدل‌سازی شده و مشاهده‌شده بر حسب سه آماره ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف معیار (SD) مشخص نمود. هر نقطه در دیاگرام تیلور معیارهای عملکرد یک مجموعه داده را نشان می‌دهد. نقطه‌ای که به نقطه بارش ماهانه مشاهده شده نزدیک‌تر است، بهترین مجموعه داده را نشان می‌دهد. در این مطالعه، دیاگرام تیلور برای پنج ایستگاه مورد بررسی، ترسیم و در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، در همه ایستگاه‌ها بجز ایستگاه چلگرد، عملکرد داده‌های ERA5-Land بهتر از داده‌های ERA5 بوده است، هرچند تفاوت آنها زیاد نیست.



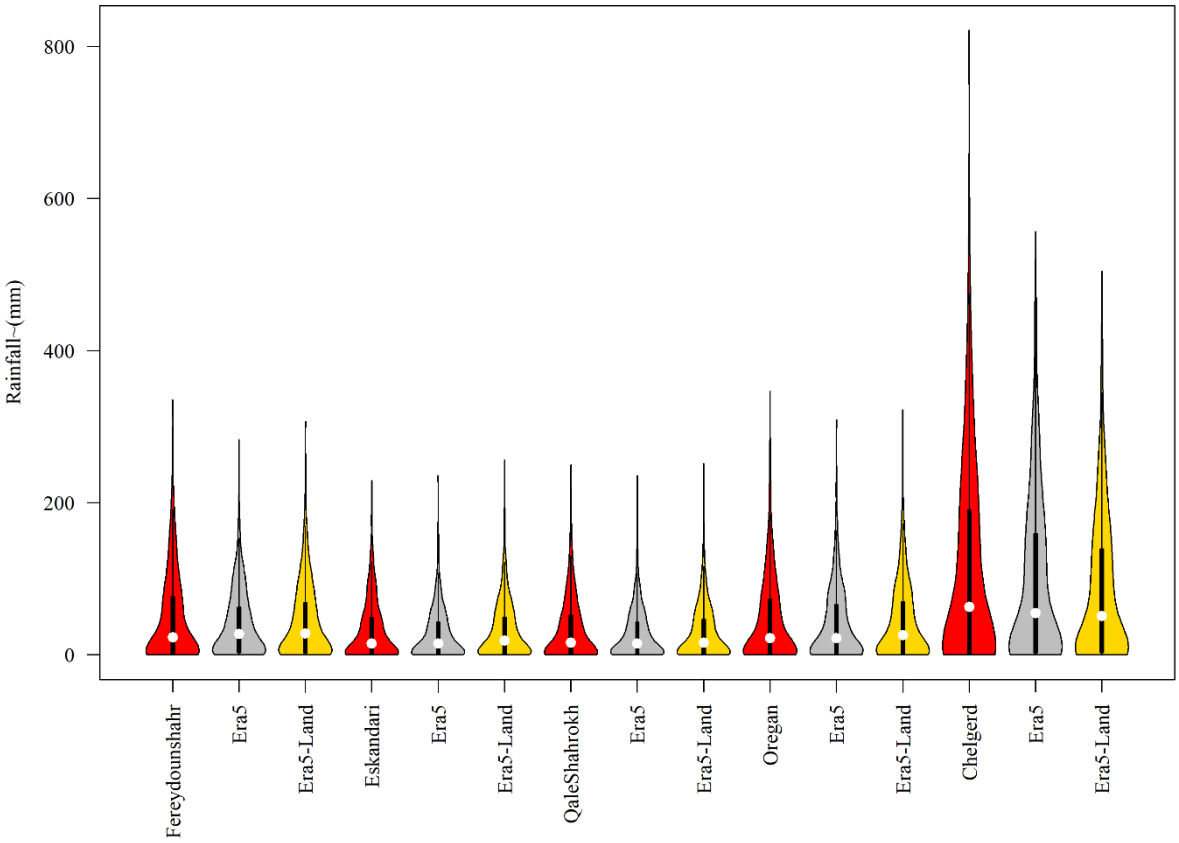
شکل ۳- دیاگرام تیلور برای مقایسه داده‌های بارش ماهانه بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۸۸

در ادامه، برای بررسی عملکرد داده‌های بازتحلیل در تخمین بارش‌های حدی، از نمودار ویولن[1] استفاده می‌شود. نمودار ویولن یکی از ابزارهای قدرتمند در تحلیل داده‌ها است. این نمودار ترکیبی از نمودار جعبه‌ای[2] و تخمین چگالی[3] است که به‌طور همزمان نمایی از توزیع داده‌ها و مقادیر میانه، چارک‌ها و گستره داده‌ها را فراهم می‌کند. با استفاده از این نمودار می‌توان توزیع داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتحلیل را مقایسه کرد. با استفاده از این نمودار می‌توان مشاهده کرد که عملکرد داده‌های بازتحلیل در تخمین داده‌های حدی و داده‌های میانگین چگونه بوده است.

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، هر دو مجموعه داده بازتحلیل در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه چلگرد، توانسته‌اند توزیع

1- Violin plot
2- Box plot
3- Density plot

داده‌ها و دامنه تغییرات داده‌ها را به خوبی تخمین بزنند هر چند از این نظر، در این چهار ایستگاه (فریدونشهر، اسکندری، قلعه شاهرخ و اورگان) عملکرد داده‌های ERA5-Land بهتر از ERA5 بوده است. در ایستگاه چلگرد، عملکرد داده‌های ERA5 بهتر بوده است، هرچند هر دو مجموعه داده در تخمین بارش‌های حداکثر عملکرد خوبی نداشته‌اند، با این حال توزیع این داده‌ها از مشابهت خوبی با توزیع داده‌های مشاهداتی برخوردار بوده است.



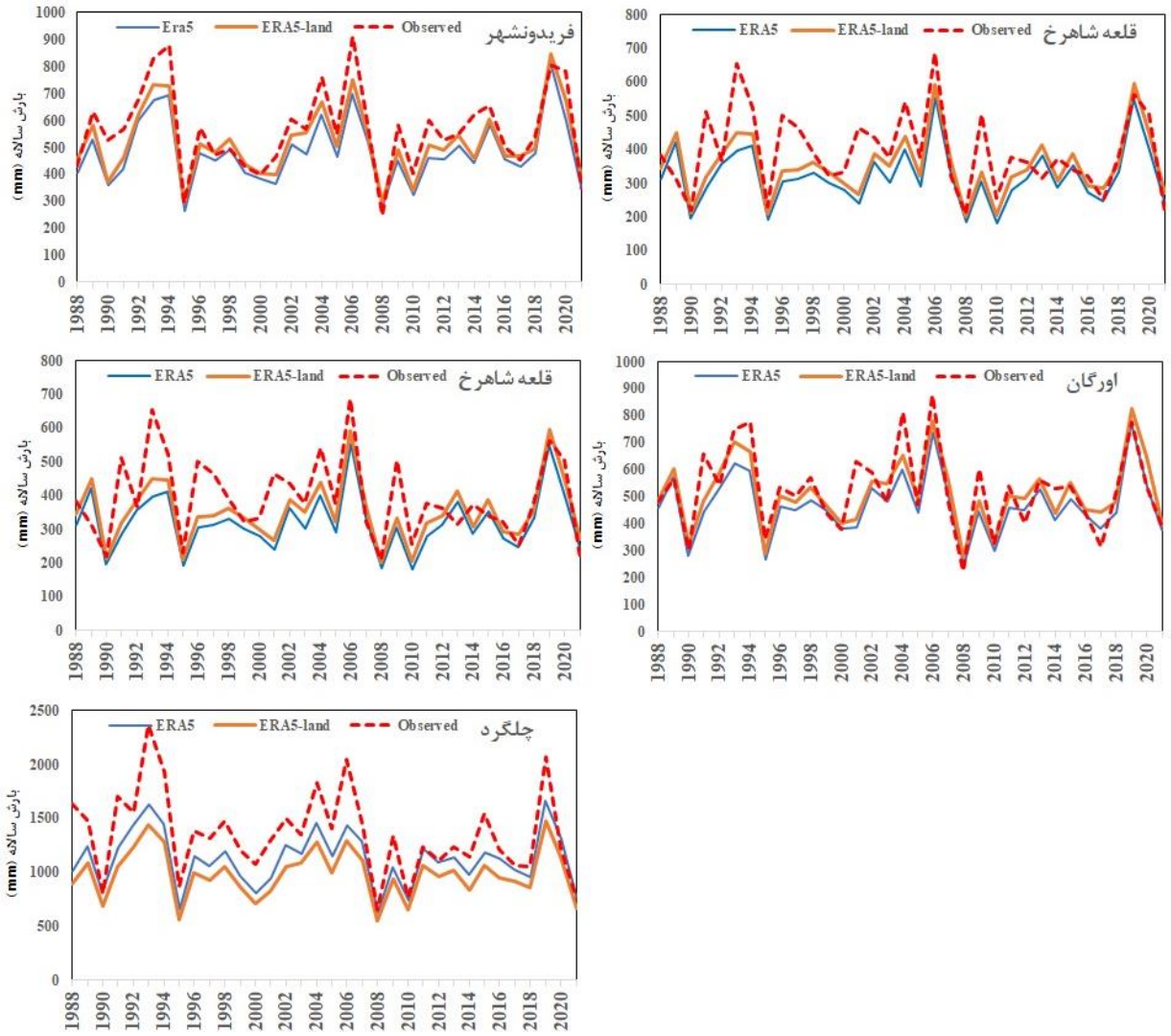
شکل ٤- نمودارهای ویولن بارش ماهانه مشاهده شده و بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۲۲-۱۹۸۸

در شکل ۵ مقادیر میانگین بلندمدت بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب با مقادیر متناظر داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در دوره ۲۰۲۲-۱۹۸۸مقایسه شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در همه ایستگاه‌ها داده‌های بازتحلیل کم‌برآورد دارند که این کم‌برآوردی از ابتدای دوره تا سال ۲۰۰۵ بیش از ۱۵ ساله انتهای دوره مورد مطالعه است. همچنین اختلاف داده‌های مشاهداتی با داده‌های بازتحلیل در سال‌های پربارش بیش از سال‌های کم‌بارش بوده است که این موضوع در ایستگاه چلگرد بیش از ایستگاه‌های دیگر است. مشابه این نتایج را ایزدی و همکاران و حیدری و همکاران (۱۴۰۳) در ارزیابی عملکرد داده‌های ماهانه ERA5 برای ایستگاه‌های پربارش کرانه دریای خزر گزارش کرده‌اند (Izadi et al., 2021). بطور کلی می‌توان گفت که عملکرد داده‌های بازتحلیل در سال‌های کم‌بارش و در ایستگاه‌های واقع در پایین‌دست حوضه بهتر بوده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، عملکرد داده‌های بارش ماهانه بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در پنج ایستگاه منتخب در حوضه بالادست سد زاینده‌رود مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد هر دو مجموعه داده در تخمین بارش ماهانه قابل قبول می‌باشد، بطوریکه مقدار ضریب تبیین در همه ایستگاه‌ها بزرگتر از ۰/۷۵ بدست آمد. مقایسه دو مجموعه داده بازتحلیل نشان داد که در چهار ایستگاه از پنج ایستگاه مورد بررسی دقت داده‌های ERA5-Land بیشتر از ERA5 بوده است و فقط در ایستگاه چلگرد داده‌های ERA5 مختصری عملکرد بهتری نشان داد. بطور کلی می‌توان گفت که داده‌های بازتحلیل در اغلب موارد مقادیر بارش را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند که این موضوع در ماه‌های پربارش تشدید شده است. بررسی عملکرد مجموعه داده‌های بازتحلیل با نمودار ویولن نشان داد

که هر دو مجموعه داده بازتحلیل در همه ایستگاه‌ها بجز ایستگاه چلگرد، توانسته‌اند توزیع داده‌ها و دامنه تغییرات داده‌ها را به خوبی تخمین بزنند و از این نظر در چهار ایستگاه فریدونشهر، اسکندری، قلعه شاهرخ و اورگان عملکرد داده‌های ERA5-Land بهتر از ERA5 بوده است. مقایسه میانگین بلندمدت بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب با مقادیر متناظر داده‌های بازتحلیل نشان داد که دقت داده‌های بازتحلیل در ۱۵ سال اخیر بیشتر از سال‌های ابتدای دوره مورد مطالعه بوده است. بطور کل داده‌های ERA5 معمولاً دقت بالاتری در شبیه‌سازی پارامترهای جوی دارد، در حالی‌که ERA5-Land دقت بیشتری در شبیه‌سازی پارامترهای مرتبط با زمین (مثل بارش و رطوبت خاک) ارائه می‌دهد. مجموعه داده ERA5-Land دارای تفکیک مکانی بهتری نسبت به ERA5 است و برای مطالعات محلی مناسب‌تر است، هرچند ERA5-Land نسبت به ERA5، دوره زمانی کمتری را پوشش می‌دهد. با توجه به دقت مناسب مجموعه داده‌های بارش بازتحلیل، ERA5 و ERA5-Land در منطقه مورد مطالعه، از آنها می‌توان برای انجام مطالعات هیدرولوژیکی و بررسی بیلان منابع آب حوضه استفاده کرد، هرچند برای مطالعات دقیق‌تر توصیه می‌شود که قبل از استفاده از این داده‌ها، خطای آنها با روش‌های مناسب تعدیل گردد.



شکل ۵- سری زمانی میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های زمینی و منابع بارش ERA5 و ERA5-Land در دوره ۱۹۸۸-۲۰۲۲

منابع

باریده، ر.، فرج نیا، ا. و حسن پور، ر. ۱۴۰۳. ارزیابی دقت داده‌های بارش مجموعه داده‌های ERA5-Land و CHIRPS. پنجمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (آبیاری هوشمند). موسسه

تحقیقات خاک و آب، کرج.

حیدری، س.، کریمی، م. و بیرانوند، ا. ۱۴۰۳. ارزیابی عملکرد داده های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران، پژوهش‌های دانش زمین. ۱۵(۲): ۱-۲۴. doi: 10.48308/esrj.2024.104225

رضیئی, ط. و ستوده، ف. ۱۳۹۶. بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوی (ECMWF) در پیش بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران. فیزیک زمین و فضا. ۴۳(۱): ۱۳۳-۱۴۷. doi: 10.22059/jesphys.2017.57958

عزیزی، ج.، رسول زاده، ع.، رحمتی، ا.، شایقی، ا. و باختر، آ. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱ (۱۱): ۲۹۳۷- ۲۹۵۱. doi: 10.22059/ijswr.2020.302176.668600

غلامی، س.، فرج زاده، م. و قویدل رحیمی، ی. ۱۴۰۲. بررسی تطبیقی عملکرد پایگاه‌های داده CHIRPS و ERA5-Land در آشکارسازی خشکسالی‌های ایران. جغرافیای طبیعی. ۶۱: ۱-۲۲. doi: 20.1001.1.20085656.1402.16.61.1.1

Alexandridis, V., Stefanidis, S. and Dafis, S. 2023. Evaluation of ERA5 and ERA5-Land Reanalysis Precipitation Data with Rain Gauge Observations in Greece. Environmental Sciences Proceedings. 26 : 104.

Asuero, A.G., Sayago, A. and González, A.G. 2006. The correlation coefficient: An overview. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 36: 41–59.

Deng, X., Nie, S., Deng, W. and Cao, W. 2018. Statistical evaluation of the performance of gridded monthly precipitation products from reanalysis data, satellite estimates, and merged analyses over China. Theoretical and Applied Climatology. 132, 621–637.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J. and Thépaut, J.N. 2020. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 146: 1999–2049

Huang, X., Luo, G., Chen, C., Peng, J., Zhang, C., Zhou, H., Yao, B., Ma, Z. and Xi, X. 2021. How precipitation and grazing influence the ecological functions of drought-prone grasslands on the northern slopes of the Tianshan Mountains, China? Journal of Arid Land. 13: 88–97.

Izadi, N., Karakani, E.G., Saadatabadi, A.R., Shamsipour, A., Fattahi, E. and Habibi, M. 2021. Evaluation of ERA5 precipitation accuracy based on various time scales over Iran during 2000–2018. Water. 13(18): 2538. https:// doi. org/ 10. 3390/ w1318 2538

Jiao, D., Xu, N., Yang, F. and Xu, K. 2021. Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. Scientific Reports. 11: 17956. https://doi.org/10.1038/s41598-021-97432-y

Kokkalis, P., Al Jassar, H.K., Al Sarraf, H., Nair, R. and Al Hendi, H. 2024. Evaluation of ERA5 and NCEP reanalysis climate models for precipitation and soil moisture over a semi-arid area in Kuwait. Climate Dynamics. 62: 4893–4904.

Lavers, D.A., Simmons, A., Vamborg, F. and Rodwell, M.J. 2022. An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 148(748): 3124–3137. https://doi.org/10.1002/qj.4351

Meng, X., Guo, J., and Han, Y. 2018. Preliminarily assessment of ERA5 reanalysis data. Journal of Marine Meteorology. 38(1): 91–99.

Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., and Hersbach, H. 2021. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth System Science Data. 13: 4349–4383.

Sharifi, E., Steinacker, R. and Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran: Preliminary Results. Remote Sensing. 8(2): 135. https://doi.org/10.3390/rs8020135

Sheffield, J., Wood, E.F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat-Capdevila, A. and Verbist, K. 2018. Satellite remote sensing for water resources management: Potential for supporting sustainable development in data-poor regions. Water Resources Research. 54: 9724–9758.

Tang, G., Clark, M.P., Papalexiou, S.M., Ma, Z. and Hong, Y. 2020. Have satellite precipitation products improved over last two decades? A comprehensive comparison of GPM IMERG with nine satellite and reanalysis datasetsRemote Sensing of Environment. 240: 111697.

Tapiador, F.J., Turk, F.J., Petersen, W., Hou, A.Y., García-Ortega, E., Machado, L.A., Angelis, C.F., Salio, P., Kidd, C., Huffman, G.J. 2012. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. Atmospheric Research. 104: 70–97.

Taylor, K.E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 106(D7): 7183–7192. https:// doi. org/ 10. 1029/ 2000J D9007 19

Xie, W., Yi, S., Leng, C., Xia, D., Li, M., Zhong, Z. and Ye, J. 2022. The evaluation of IMERG and ERA5-Land daily precipitation over China with considering the influence of gauge data bias. Scientific Reports.

12: 8085. https://doi.org/10.1038/s41598-022-12307-0

Yang, M., Liu, G., Chen, T., Chen, Y. and Xia, C. 2020. Evaluation of GPM IMERG precipitation products with the point rain gauge records over Sichuan, China. Atmospheric Research. 246: 105101.

Zambrano, F., Wardlow, B., Tadesse, T., Lillo-Saavedra, M. and Lagos, O. 2017. Evaluating satellite-derived long-term historical precipitation datasets for drought monitoring in Chile. Atmospheric Research. 186: 26-42.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 19, Apr.-May. 2025, p. 75-87

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۹، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۸۷-۷۵

Performance Evaluation of Monthly ERA5 and ERA5-Land Reanalysis Precipitation Data in the Upstream of the Zayandehroud Reservoir Basin

F. Kazemiazar[1], **K. Khalili**[2]*, **H. Rezaie**[3] , **R. Mirabbasi Najafabadi**[4]
Recived: Jan.09, 2025 Accepted: Jan.21, 2025

Abstract

Precipitation is one of the main components of the hydrological cycle that describes the climate of the region and the amount of renewable water in the basin. However, due to the small number of rain gauge stations and their poor distribution, as well as the short length of observation data, the study of temporal and spatial variations in precipitation has been limited. With the help of reanalysis data, this limitation can be largely overcome. Assessing the accuracy of satellite precipitation products and reanalysis is very important for understanding their uncertainty and potential applications. The aim of this study is to evaluate the performance of two reanalysis datasets, ERA5 and ERA5-Land, in estimating monthly precipitation in the upstream of the Zayandehroud reservoir. The reanalysis data were compared with corresponding precipitation data measured at five stations: Fereidounshahr, Eskandari, Qale Shahrokh, Oregan and Chelgerd over a 35-year period (1988-2022). The coefficient of determination, Nash-Sutcliffe efficiency coefficient and Root Mean Square Error (RMSE) statistics were used for this purpose. The results showed that the reanalysis data can generally describe the monthly patterns observed in upstream of the Zayandehroud reservoir well. However, in most cases, the reanalysis data underestimated the actual precipitation values, which was more pronounced at high-precipitation stations and in high-precipitation months. The results also showed that the accuracy of the ERA5-Land data was higher than that of ERA5 at all stations except the Chelgerd station. Given the acceptable accuracy of the monthly ERA5 and ERA5-Land precipitation data upstream of the Zayandehroud Dam, these data can be used as a suitable alternative for points without rain gauge stations in the study area or as input to the distributed rainfall-runoff models.

Keywords: ERA5, ERA5-Land, Precipitation, Reanalysis data, Zayandehroud

1- PhD student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
3 - Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(*-Corresponding author: Email: k.khalili@urmia.ac.ir)