

مقاله پژوهشی

ارزیابی محصولات پایگاه‌های بارش شبکه‌ای در گام‌های زمانی متفاوت در یک حوضه آبریز کوهستانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد دز)

علی گرجی‌زاده*

چکیده

با اینکه داده‌های باران‌سنجی منبع دقیقی از بارش در مقیاس نقطه‌ای هستند، اما نمی‌توانند بارش را در مناطق بزرگ یا جایی که امکان ساخت ایستگاه هواشناسی وجود ندارد، برآورد کنند؛ بنابراین علاوه بر مشاهدات باران‌سنجی، داده‌های شبکه‌بندی نیز می‌توانند داده‌های قابل‌اعتمادی را برای پشتیبانی از مشاهدات بارش ارائه دهند. در این تحقیق از محصولات پایگاه‌های شبکه‌بندی بارش ERA5 و PERSIANN-CDR در حوضه آبریز دز بهره گرفته شد و ارزیابی هواشناسی داده‌های شبکه‌بندی ذکرشده در مقیاس زمانی سالانه، ماهانه و روزانه بدون تفکیک فصول و با تفکیک فصول انجام پذیرفت. در برآورد بارش سالانه محصولات بارش با در نظر گرفتن مقادیر RMSE در هر ۴ ایستگاه مشاهده می‌شود عملکرد هر دو مدل در برآورد بارش سالانه مناسب نیست. همچنین نتایج نشان داد در برآورد بارش روزانه، ماهانه و سالانه در ایستگاه‌های تله‌زنگ و سد دز، بهترین مدل برآوردگر محصول P-CDR و در ایستگاه‌های تنگ‌پنج بختیاری و سپیددشت سزار بهترین مجموعه داده، پایگاه ERA5 است. براین‌اساس بیشترین میزان RMSE در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه به ترتیب برابر با ۸/۲، ۷۶/۰۹۸ و ۵۴۲/۲۴ میلی‌متر و همچنین بهترین مقدار NSE در مقیاس روزانه مربوط به پایگاه داده ERA5 در ایستگاه سپید دشت سزار با مقدار ۰/۴۸۲ و بیشترین میزان ضریب همبستگی مربوط به داده‌های ERA5 در ایستگاه سپیددشت با مقدار ۰/۷۲۹ است و از نظر شاخص‌های تشخیص بارش FAR و POD بهترین مقدار به ترتیب با مقادیر ۰/۵۶۸ و ۰/۱۶۹ مربوط به داده‌های مجموعه داده پایگاه ERA5 در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری هستند.

واژه‌های کلیدی: بارش شبکه‌بندی‌شده، حوضه آبریز سد دز، ERA5، PERSIANN-CDR.

ارجاع: گرجی‌زاده ع. ۱۴۰۳. ارزیابی محصولات پایگاه‌های بارش شبکه‌ای در گام‌های زمانی متفاوت در یک حوضه آبریز کوهستانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد دز). نشریه پژوهش آب ایران. ۷۳-۵۷. ۵۴. <https://dx.doi.org/10.22034/TWRJ.2024.14848.2615>

1- استادیار گروه آموزشی هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: a.gorjizadeh@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳

مقدمه

آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی بارش برای کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تصمیم‌گیری دقیق در مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Navidi Nassaj *et al.*, 2022; Wei *et al.*, 2020). مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی، منابع اصلی اندازه‌گیری‌های بارش هستند؛ به‌گونه‌ای که در مناطقی با توزیع گسترده شبکه باران‌سنجی، روش‌های درون‌یابی مکانی معمولاً داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده با دقت بالا را ارائه می‌دهند. (Zhang *et al.*, 2020) با اینکه داده‌های باران‌سنجی منبع دقیقی از بارش در مقیاس نقطه‌ای هستند، نمی‌توانند بارش را در مناطق بزرگ یا جایی که امکان ساخت ایستگاه هواشناسی وجود ندارد، برآورد کنند (Navidi Nassaj *et al.*, 2022)؛ علاوه‌براین، در کشورهای درحال توسعه، بسیاری از باران‌سنج‌ها فاقد اندازه‌گیری‌های بلندمدت و دقیق بارش هستند (Gorjizade *et al.*, 2020)؛ بنابراین، به‌دست آوردن داده‌های ثبت‌شده بارش با توزیع مکانی مناسب همواره برای محققان چالش‌برانگیز بوده است (Tan *et al.*, 2020a). تعداد زیادی از برآوردهای ماهواره‌ای مبتنی بر بارش و داده‌های باز تحلیل با تفکیک‌های مکانی و زمانی بالا به‌صورت رایگان دردسترس هستند و می‌توانند برای تکمیل داده‌های باران‌سنجی یا حتی جایگزین این نوع اندازه‌گیری‌ها باشند (Fujihara *et al.*, 2014; Thiemi *et al.*, 2013)؛ بنابراین چنانچه راهی پیدا شود که اندازه‌گیری در ایستگاه‌های فاقد آمار از این روش‌ها قابل‌دستیابی باشد، آنگاه می‌توان راهی پیدا کرد که در دفعات آتی این اطلاعات تکمیل‌کننده اندازه‌گیری‌های زمینی شوند و در مکان‌هایی که امکان اندازه‌گیری زمینی وجود ندارد، با پردازش داده‌ها از گروه‌های مذکور میزان بارش را با سرعت بیشتر و زمان مناسب‌تر اندازه گرفت (Gorjizade *et al.*, 2020). طی دهه‌های گذشته، تلاش‌های زیادی برای تولید داده‌های ماهواره‌ای صورت گرفته است، درنتیجه بارش به‌طور گسترده‌ای در مقیاس‌های زمانی و مکانی دردسترس است؛ بنابراین علاوه‌بر مشاهدات باران‌سنجی، داده‌های شبکه‌بندی نیز می‌توانند داده‌های قابل‌اعتمادی را برای پشتیبانی از مشاهدات بارش ارائه دهند (Rao *et al.*, 2024). محصولات پایگاه‌های بارش شبکه‌بندی‌شده، دارای مزایای خاصی هستند، ازجمله پوشش وسیع، توزیع

مکانی یکنواخت، وضوح مکانی بالا و دوره زمانی طولانی‌مدت؛ به‌گونه‌ای که جمع‌آوری داده‌های بارش در مناطق فاقد داده‌های باران‌سنجی را تسهیل می‌کنند (Gao *et al.*, 2020)؛ علاوه‌براین، مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده جهانی می‌تواند آگاهی از تنوع بارش را، به‌ویژه در مناطق و نقاط غیرقابل‌دسترس با داده‌های پراکنده، با ارائه تخمین‌های مکانی همگن‌تر و برآوردهای زمانی جامع‌تر بهبود بخشد (Golian *et al.*, 2019). بالین‌حال، به‌دلیل الگوریتم محاسباتی ذاتی، پارامترسازی و همچنین منابع داده و تکنیک‌های ادغام آن‌ها، مجموعه داده‌های بارش شبکه‌ای ممکن است دارای عدم قطعیت‌ها و خطاهایی باشند که در مناطق مختلف و مقیاس‌های زمانی متفاوت است (Yao *et al.*, 2020)؛ بنابراین، مقایسه و اعتبارسنجی مجموعه‌های داده و شناسایی خطاها در آن‌ها نه‌تنها برای مدیران بخش آب و تصمیم‌گیرندگان برای تصمیم‌گیری دقیق، بلکه برای توسعه‌دهندگان الگوریتم و توسعه‌دهندگان مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده جهانی برای بهبود عملکرد محصول ضروری است (Gorjizade *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2018). در سال‌های اخیر، مطالعات مختلفی برای مقایسه مجموعه داده‌های بارش مشاهده‌شده و شبکه‌بندی‌شده برای تعیین نقاط قوت و ضعف هر مجموعه داده در نقاط مختلف جهان، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه انجام شده است؛ ازجمله مطالعات در خارج از ایران می‌توان به: (Gu *et al.*, 2023; Hong *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2021a; Meng *et al.*, 2024; Nguyen, Nguyen and Nguyen, 2023; Rao *et al.*, 2024; Tan *et al.*, 2020b; Wolkeba and Mekonnen, 2024) و در داخل ایران: (Gorjizade *et al.*, 2020b, 2022; Keikhosravi, Kiany *et al.*, 2023; Khoshchereh *et al.*, 2021; Navidi Nassaj *et al.*, 2022; Rahmati Ziveh *et al.*, 2022) اشاره کرد؛ برای مثال: (Siasar and Salari, 2023) در مطالعه‌ای به ارزیابی داده‌های بارش با استفاده از مدل‌های CHIRPS و PERSIANN پرداختند. نتیجه‌گیری کلی این بود که دقت هر دو الگوریتم در تعیین الگوی مکانی بارندگی در مقیاس ماهانه و سالانه مناسب بوده و الگوریتم PERSIANN از دقت بالاتری در مقیاس زمانی ماهانه برخوردار است. (Heidari *et al.*, 2024) به ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران و واکاوی فضایی رژیم بارشی کشور پرداختند؛ مقایسه سری زمانی بارش ماهانه در پایگاه داده

(Khoshchehreh *et al.*, 2021). در این تحقیق با توجه به آمار در دسترس و قابل اعتماد، تعداد ۴ ایستگاه باران سنجی تله‌زنگ، سد دز، تنگ‌پنج بختیاری و سپید دشت سزار در بازه زمانی ۲۰۰۸/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۹/۱۲/۳۱ انتخاب شد.

مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی شده

داده‌های پایگاه‌های شبکه‌بندی شده به صورت پهنه‌ای و سلول‌بندی شده برای تمام نقاط موجود در پوشش مکانی مربوط به پایگاه داده، وجود دارند و برای برآورد پارامترهای اقلیمی از جمله بارش استفاده می‌شوند. وجود این نوع داده‌ها منجر به افزایش در دسترس بودن مجموعه داده‌های بارش در وضوح مکانی بالا و طول دوره زمانی در مقیاس جهانی یا شبه جهانی شده است (Tapiador *et al.*, 2012).

مجموعه داده ERA5^۲

برای تولید داده‌های بازتحلیل شده از ترکیب داده‌های به دست آمده از پیش‌بینی مدل و داده‌های مشاهده‌ای استفاده می‌شود. پیش‌بینی‌های مدل که حدس اولیه نامیده می‌شود، براساس داده‌های ورودی به مدل و رابطه ریاضی تعریف شده برای مدل به دست می‌آید (Balsamo *et al.*, 2015; Dee *et al.*, 2011). از آنجاکه پیش‌بینی‌های مدل همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است، این پیش‌بینی اولیه با داده‌های مشاهده‌ای موجود که به مرکز پیش‌بینی می‌رسد، کنترل می‌شود. سپس مدل را بهینه می‌کنند تا پیش‌بینی‌های آن خطای کمتری داشته باشد؛ از این رو تولید داده‌های باز تحلیل شده در دو مرحله صورت می‌پذیرد. ابتدا مدل با داده‌های مربوط به ساعت‌های پیشین که در بایگانی مرکز پیش‌بینی موجود است، به پیش‌بینی یک گام زمانی جلوتر (۶ ساعت بعد) می‌پردازد و در مرحله بعد نتیجه این پیش‌بینی با داده‌های مشاهده‌ای همان گام زمانی که از منابع متفاوت اطلاعاتی به مرکز رسیده است، ترکیب و داده‌های بازتحلیل شده تولید می‌شود. هریک از منابع اطلاعاتی که در بالا یاد شد، از توزیع مکانی متفاوتی در سطح کره زمین برخوردارند، در نتیجه دقت مدل در مناطق مختلف کره زمین متفاوت است.

بازتحلیل ERA5 نسبت به بارش اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های همدید، نشان از الگوی مشابه این نوع داده در طولانی مدت داشت.

مطالعات انجام گرفته در ایران غالباً براساس داده‌های ماهواره‌ای یا ماهواره-باران‌سنجی بوده و در مطالعات محدودی نیز براساس نسل چهارم داده‌های بازتحلیل (ERA-Interim) هستند. در این مطالعه نسل پنجم داده‌های بازتحلیل به کار گرفته شده و مقایسه آن با داده‌های P-CDR که براساس مطالعات صورت گرفته از توانایی خوبی در ارزیابی مقدار و تشخیص بارش برخوردار است، انجام پذیرفته است. این مطالعه به طور خاص با هدف ارزیابی عملکرد و مقایسه نمونه‌ای از محصولات ماهواره-باران‌سنجی (^۱ PERSIANN-CDR) و تحلیل مجدد (ERA5) در تخمین بارش در حوضه آبریز سد دز در ایران انجام شد. این مطالعه علاوه بر مشخص کردن مجموعه داده برتر در محدوده مورد مطالعه در مقیاس‌های سالانه، ماهانه و روزانه با تفکیک فصول و بدون تفکیک فصل‌ها از بین ۲ محصول برتر داده‌های شبکه‌بندی، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران آب قرار دهد تا بتوانند مدل‌سازی دقیق‌تری را با استفاده از مجموعه داده‌های بارش شبکه‌ای انجام دهند و در نتیجه استراتژی‌های مدیریتی کارآمدتری را در مقیاس حوضه اتخاذ کنند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سد دز به عنوان زیرمجموعه‌ای از حوضه کارون بزرگ محسوب می‌شود و در تقسیم‌بندی بزرگ‌تر در زیرمجموعه حوضه خلیج فارس و دریای عمان قرار می‌گیرد (شکل ۱). بخش عمده بارش‌های جوی در فصل‌های پاییز و زمستان به صورت برف است و آب شدن آن‌ها از اواخر فصل زمستان تا اواخر بهار ادامه دارد و بخش عمده آب سالانه رواناب‌های سطحی این حوضه را تأمین می‌کند. مساحت کل حوضه بالغ بر ۱۷۰۵۷ کیلومتر مربع است. ارتفاع حوضه بین حداقل ۳۱۷ متر و حداکثر ۴۰۷۵ متر متغیر است و متوسط ارتفاع حوضه ۱۶۷۶ با ارتفاع فراوانی حداکثر ۱۸۲۹ متر است.

همبستگی خوبی با داده‌های GPCP، در مقیاس ماهانه حفظ کنند. محصول نهایی تولیدشده، PERSIANN-CDR نامیده می‌شود. با هدف پاسخ‌دادن به نیاز به یک مجموعه داده‌های پایدار، طولانی‌مدت، با وضوح بالا و جهانی برای مطالعه تغییرات و روند بارش باران، به‌ویژه رویدادهای بارش شدید، به دلیل تغییرات آب‌وهوایی و تغییرات طبیعی، مورد توجه قرار گرفته است (Ashouri et al., 2015). در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه PERSIANN-CDR با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های مختلف ارزیابی که در جدول ۱ آمده است، برای مقایسه و ارزیابی مجموعه داده‌های شبکه‌بندی‌شده به‌منظور مشخص‌شدن دقت این داده‌ها در محدوده مطالعاتی استفاده شده است. در این جدول P_i مقدار پیش‌بینی‌شده، G_i مقدار مشاهده‌شده، $\bar{P}$ متوسط مقادیر پیش‌بینی‌شده و $\bar{G}$ متوسط مقادیر مشاهده‌شده است. همچنین H تعداد دفعاتی است که بارش مشاهده‌شده به‌درستی تشخیص داده‌شده؛ M تعداد مشاهداتی است که بارش مشاهده‌شده تشخیص داده نشده است و F تعداد دفعاتی است که بارش رخ نداده، اما مدل وقوع بارش را نشان داده است.

شاخص‌های ارزیابی میزان بارش

شاخص‌های ارزیابی میزان بارش که در جدول ۱، به آنها اشاره شده است، عبارت‌اند از Bias که نشان‌دهنده این است که مقادیر شبیه‌سازی‌شده چه میزان تفاوت با مقادیر مشاهده‌شده دارند، MBE نشان‌دهنده این است که مقادیر شبیه‌سازی‌شده چه تفاوتی با مقادیر مشاهده‌شده دارند؛ اگر این مقدار بزرگ‌تر از صفر باشد، مدل بیش‌برآورد و اگر کوچک‌تر از صفر باشد، مدل کم‌برآورد عمل کرده است. نش-ساتکلیف^{۱۰} (NSE) می‌تواند از $-\infty$ تا ۱ باشد. این ضریب مقادیر نسبی واریانس باقی‌مانده‌ها را نسبت به واریانس مقادیر مشاهده‌شده بارش تعیین می‌کند. NSE نشان می‌دهد که رفتار نمودار اطلاعات مشاهده‌شده در مقایسه با داده‌های شبیه‌سازی‌شده متناسب با خط ۱:۱ چگونه است. NSE

ERA5 آخرین نسل از مجموعه داده‌های بازتحلیل (نسل پنجم) که توسط مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت وضع هوای اروپا، ECMWF توسعه یافته است. مهم‌ترین ارتقاها در مقایسه با ERA-Interim، شبکه فضایی بهتر (۳۱ کیلومتر در مقابل ۷۹ کیلومتر)، وضوح زمانی بالاتر (۱ ساعت در مقابل ۳ ساعت) تعداد بیشتر سطوح عمودی (۱۳۷ در مقابل ۶۰)، یک مدل NWP جدید (IFS_Cycle_41r2) و افزایش مقدار داده‌ها برای داده‌گذاری^۱ است (Urraca et al., 2018). این مجموعه داده‌ها از سال ۱۹۵۰ تا نزدیک به زمان حال پوشش داده می‌شود. در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه ERA5 با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه استفاده شد.

مجموعه داده PERSIANN-CDR^۲

مجموعه داده PERSIANN-CDR به‌صورت مشترک توسط دانشگاه کالیفرنیا و NOAA تهیه شده و اطلاعات را از سال ۱۹۸۳ تاکنون ارائه می‌دهد و برآوردهای بارش آن از داده ماهواره‌ای IR و MW محاسبه می‌شود (Ashouri et al., 2015; Duan et al., 2016). الگوریتم ماهواره مبنای PERSIANN از ترکیب داده‌های IR^۳ و PMW^۴ استفاده می‌کند. هرکدام از این داده‌ها به‌ترتیب از داده‌های ماهواره‌های GOE^۵ و LOE^۶ حاصل می‌شوند. همچنین در این الگوریتم برای استخراج داده‌های پیکسل‌های ابر-سرد^۷ و دمای درخشندگی^۸ پیکسل‌های مختلف و درنتیجه تخمین میزان بارندگی در سطح هر پیکسل، از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود (Hsu et al., 1997; Sorooshian et al., 2000). خروجی حاصل از مدل PERSIANN بدون استفاده از داده‌های ماکروویو در جایی که این داده‌ها حضور ندارند و بدون انجام اصلاح داده‌ها، PERSIANN-B1 نامیده می‌شود. به‌منظور کاهش خطا در محصول داده‌های بارش PERSIANN-B1، با حفظ الگوی زمانی و مکانی با وضوح بالا، از محصول داده‌های ماهانه GPCP^۹ استفاده می‌شود. به‌گونه‌ای که داده‌های اصلاح‌شده PERSIANN

1- Data Assimilation

2- PERSIANN Climate Data Record

3- Infrared

4- Passive microwave

5- Geostationary Orbit Earth

6- Low Orbit Earth

7- Cold-cloud

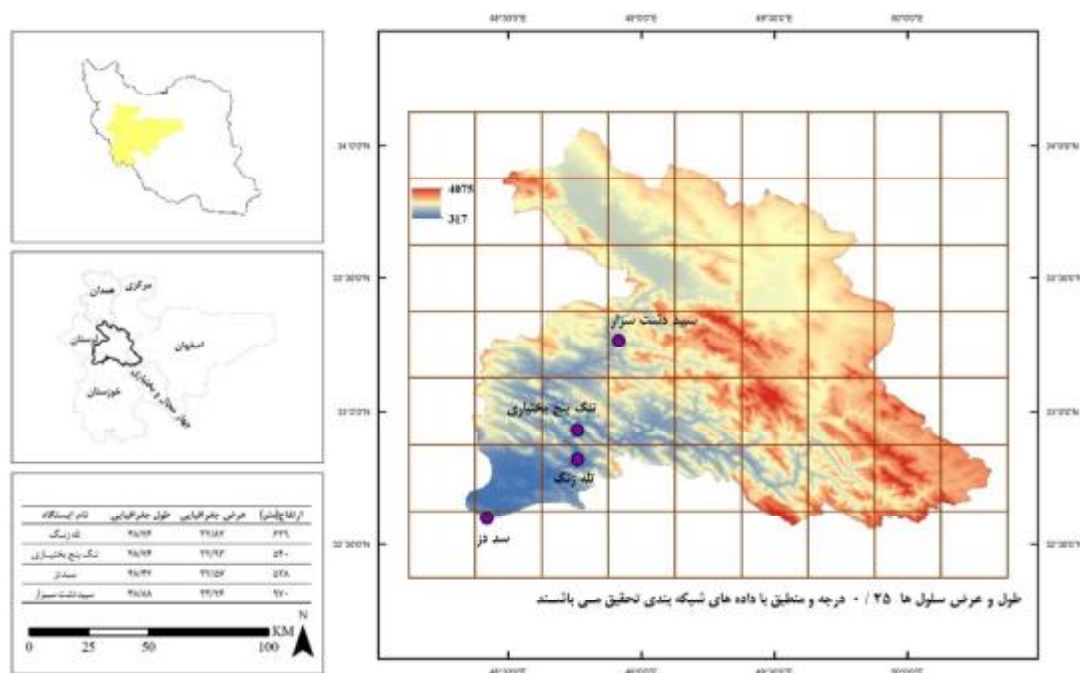
8- Brightness temperature

9- Global Precipitation Climatology Project

10- Nash Sutcliffe

می‌تواند عملکرد نسبی مدل را در مقایسه با میانگین نشان دهد؛ RMSE بر پایه خطا است، درحالی‌که NSE به کارایی مدل در مقایسه با پیش‌بینی میانگین تأکید دارد. R نشان‌دهنده درجه همبستگی خطی بین داده‌های مشاهده و داده‌های شبیه‌سازی است. این پارامتر یک بازخورد سریع و شهودی از اینکه مدل چگونه روند کلی داده‌ها را به‌خوبی ثبت می‌کند، ارائه می‌دهد (Tan and Santo, 2018).

بهترین تابع هدف برای منعکس‌کردن تناسب کلی گراف است. RMSE بیانگر اختلاف توزیع داده‌های مشاهداتی و توزیع تخمین‌های ماهواره‌ای است و یک میانگین وزنی مطابق با جذر خطا را محاسبه می‌کند (Worqlul et al., 2014). شاخص‌های RMSE و NSE هر دو برای ارزیابی دقت مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌شوند، اما مفهوم و روش محاسباتی آن‌ها متفاوت است؛ RMSE یک عدد مطلق است، درحالی‌که NSE یک نسبت بدون بُعد است؛ RMSE به مقادیر زیاد حساس است، درحالی‌که NSE



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز سد دز ایران

از دست‌رفته است. این نمایه احتمال شناخت درست روزهای همراه با بارش و بدون بارش را بیان می‌کند و مقدار بهینه آن یک است.

نمودار تیلور^۱

نمودارهای تیلور (Taylor, 2001)، یک روش گرافیکی برای خلاصه‌کردن چگونگی نزدیک‌بودن الگو (یا مجموعه‌ای از الگوها) با مشاهدات را ارائه می‌دهد. این نمودار نتیجه سه شاخص ($STDEV^2$ ، CC^3 و $RMSD^4$) را نشان می‌دهد. هر مجموعه داده شامل یک داده واقعی

شاخص‌های ارزیابی تشخیص بارش

سه شاخص آماری تشخیص بارش در جدول ۱ آورده شده است که برای مشخص‌شدن میزان دقت مدل در تشخیص وقوع بارش استفاده شده‌اند. نرخ هشدار اشتباه (FAR)، نسبت تعداد بارش ثبت‌شده زمینی نادرست به کل بارش‌های ثبت‌شده است و نشان‌دهنده قسمتی از نقاط بارش برآورده‌شده توسط مدل است که در ایستگاه زمینی فاقد بارندگی است. مقدار بهینه آن صفر است. احتمال آشکارسازی (POD)، نسبت تعداد بارش برآوردی صحیح توسط مدل به کل بارش‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی است و مقدار بهینه آن یک است. شاخص آستانه موفقیت (CSI)، تابعی از مقادیر POD و FAR است که ترکیبی از اخطارهای اشتباه برآورد و رویدادهای

1- Taylor Diagram

2- Standard deviation

3- Correlation Coefficient

4- Root-mean-square deviation

است که توسط یک نقطه جداگانه در نمودار تیلور نشان داده می‌شود. بدیهی است نقطه‌ای که به نقطه واقعی نزدیک‌تر است، از نظر شاخص‌هایی که روی این نمودار است، بهتر عمل می‌کند.

جدول ۱- روابط و مقادیر بهینه شاخص‌های ارزیابی هواشناسی و تشخیص وقوع بارش در تحقیق حاضر

مقدار بهینه	معادله	شاخص آماری	تفسیر
۱	$R = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$	ضریب همبستگی	تفسیر: شاخص ارزیابی میزان بارش
۰	$RMSD / RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)^2}{n}}$	ریشه میانگین مربعات خطا	
۱	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)^2}{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2}$	ضریب کارایی نش-ساتکلیف	
۰	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)}{n}$	میانگین خطا	
۰	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n (G_i)}$	خطای نسبی	
۱	$POD = \frac{H}{H + M}$	احتمال آشکارسازی (POD)	تفسیر: شاخص ارزیابی میزان بارش
۰	$FAR = \frac{F}{H + F}$	نرخ هشدار اشتباه (FAR)	
۱	$CSI = \frac{H}{H + M + F}$	شاخص آستانه موفقیت (CSI)	

نتایج و بحث

ارزیابی هواشناسی

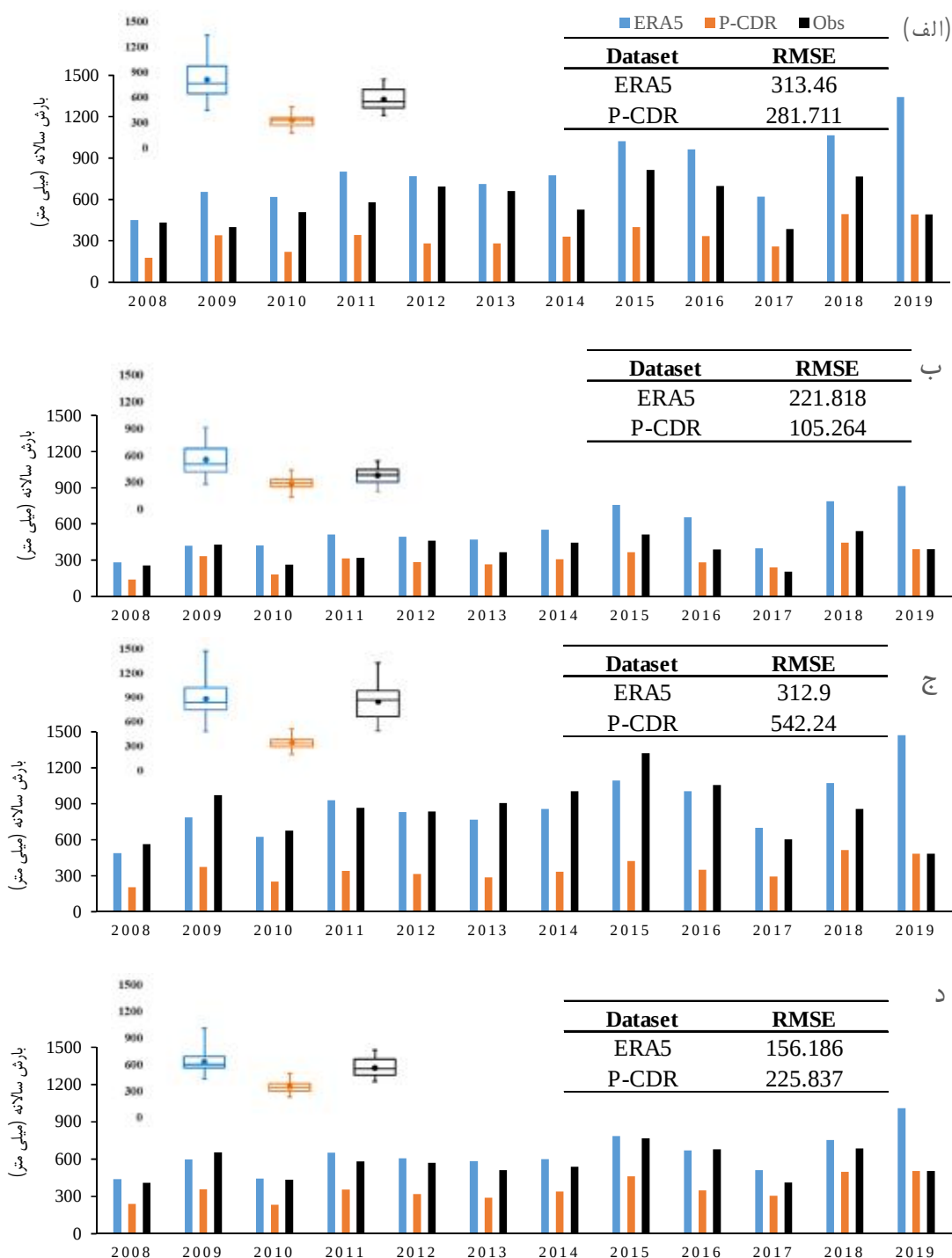
ارزیابی سالانه

شکل ۲، بارش سالانه داده‌های شبکه‌بندی‌شده و مشاهداتی در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. این شکل نشان‌دهنده بارش در سال‌های مختلف و خطای برآورد هریک از پایگاه‌های داده است؛ برای مثال در ایستگاه تله‌زنگ در تمامی سال‌ها بارش ERA5 بیشتر و بارش P-CDR کمتر از داده‌های مشاهداتی است. به عبارتی می‌توان گفت داده‌های ERA5 بیش‌برآورد و داده‌های P-CDR کم‌برآورد بوده‌اند. بیشترین اختلاف برآورد، مربوط به ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری در سال ۲۰۱۹ در محصول ERA5 بوده که میزان بارش را به میزان حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده است. همچنین مشاهده می‌شود که کمترین این اختلاف مربوط به مقادیر داده‌های P-CDR در سال ۲۰۱۹ در ۴ ایستگاه محدوده مطالعاتی است که اختلاف بسیار ناچیزی بین مقادیر، نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های سد دز و سپیددشت سزار داده‌های شبکه‌بندی‌شده دقت بیشتری در برآورد بارش سالانه نسبت به دو ایستگاه دیگر

دارند. با توجه به مقادیر بارش مشاهداتی در ایستگاه‌های مختلف مشخص می‌شود که میزان بارش در اکثر سال‌ها در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری نشان‌دهنده مقدار بارش‌های بیشتر در محیط اطراف خود است و در اکثر سال‌ها مقادیر بارش سالانه حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر است این در حالی است که کمترین میزان بارش در محدوده مطالعاتی مربوط به ایستگاه باران‌سنجی سد دز بوده که دارای کمترین مقدار در اکثر سال‌ها در محدوده مطالعاتی است. با در نظر گرفتن مقادیر RMSE در هر ۴ ایستگاه مشاهده می‌شود عملکرد مدل در برآورد بارش سالانه مناسب نیست؛ اما به صورت مقایسه‌ای می‌توان عنوان کرد در ایستگاه‌های تله‌زنگ و سد دز محصول P-CDR و در ایستگاه‌های تنگ‌پنج بختیاری و سپید دشت سزار محصول ERA5 عملکرد بهتری نسبت به مجموعه داده دیگر داشته است. همچنین در این شکل مقدار میانگین، میانه، چارک‌های اول و سوم، ماکزیمم و مینیمم داده‌های مشاهداتی بارش سالانه و داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده نشان داده شده است؛ بنابراین مشاهده می‌شود که میانگین و ماکزیمم داده‌های بارش سالانه در مجموعه داده ERA5 در همه ایستگاه‌ها بیشتر از داده‌های P-CDR

تنگ پنج بختیاری قابل مشاهده است. همچنین مشاهده می شود که بیشترین میزان پراکندگی مربوط به مجموعه داده ERA5 و کمترین پراکندگی داده های بارش سالانه مربوط به مجموعه داده P-CDR است.

و مشاهداتی است. همچنین به نظر می رسد که میانگین داده های P-CDR نیز دارای مقدار کمتری نسبت به داده های مشاهداتی است. بیشترین میزان بارش سالانه مربوط به مجموعه داده ERA5 است که در ایستگاه

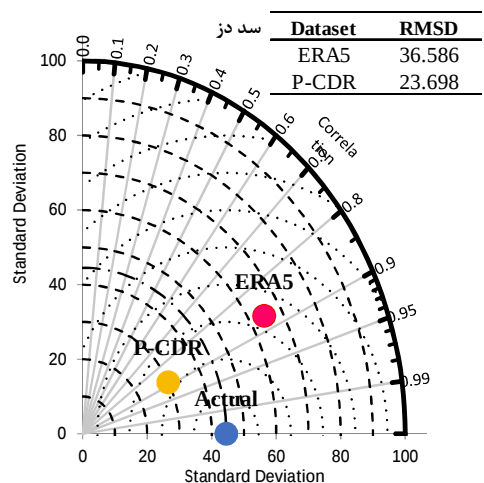
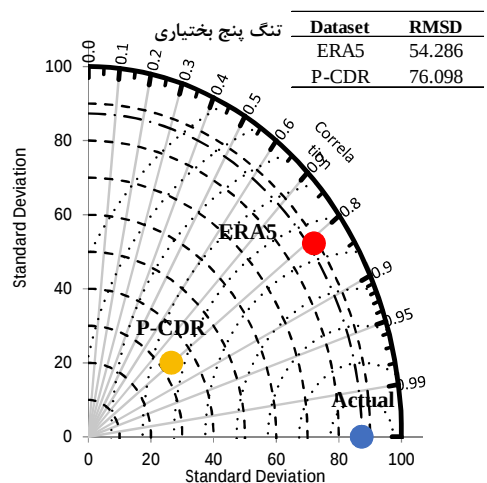
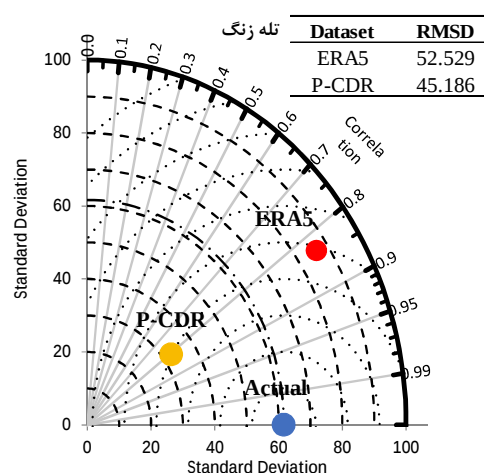
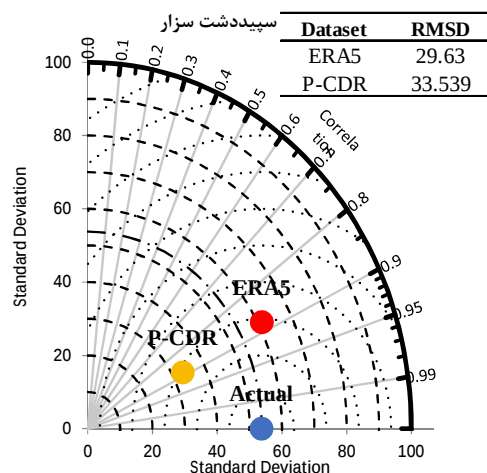


شکل ۲- میزان بارش سالانه و پراکندگی میزان بارش محصولات بارش شبکه بندی و داده های مشاهداتی در ایستگاه های: الف) تله زنگ، ب) سد دز، ج) تنگ پنج بختیاری، د) سپید دشت سزار

ارزیابی ماهانه

بیانگر این موضوع است که مقادیر داده‌های ERA5 پراکندگی بیشتر و داده‌های P-CDR پراکندگی کمتر حول میانگین داده‌های مشاهداتی دارند. از دیگر اطلاعات موجود در نمودار تیلور خطوط RMSD است که این خطوط خطای برآورد را نمایش می‌دهند و مجموعه داده‌ای که خطای برآورد کمتر یا به عبارتی فاصله کمتری با داده‌های مشاهداتی دارد عملکرد بهتری را به نمایش می‌گذارد؛ بنابراین همانگونه که مشاهده می‌شود، در بارش ماهانه در ایستگاه‌های تنگ‌پنج بختیاری و سپیددشت سزار محصول ERA5 مناسب‌تر و در دو ایستگاه دیگر مجموعه داده P-CDR عملکرد بهتری را به نمایش گذاشته است. همچنین براساس مقادیر RMSE نتیجه می‌شود که به‌طور کلی عملکرد داده‌های شبکه‌بندی‌شده در ایستگاه‌های سد دز و سپیددشت سزار بهتر از عملکرد این داده‌ها در ایستگاه‌های تنگ‌پنج بختیاری و تله‌زنگ است.

برای ارزیابی بارش ماهانه در این تحقیق از نمودار تیلور استفاده شد. شکل ۳، دیاگرام تیلور مربوط به ارزیابی بارش ماهانه را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌های سد دز و سپیددشت سزار محصول P-CDR و در ایستگاه‌های تله‌زنگ و تنگ‌پنج بختیاری داده‌های ERA5 ضریب همبستگی بیشتری را با داده‌های مشاهداتی به نمایش می‌گذارند. همچنین مشاهده می‌شود در همه ایستگاه‌ها میزان انحراف معیار (Standard Deviation) داده‌های ERA5 بیشتر و داده‌های P-CDR کمتر از داده‌های مشاهداتی است، انحراف استاندارد معیاری است که میزان پراکندگی داده‌ها را حول میانگین نشان می‌دهد. انحراف معیار کم یا کوچک نشان می‌دهد که داده‌ها به‌طور محکم در اطراف میانگین دسته‌بندی شده‌اند و انحراف استاندارد بالا یا بزرگ نشان‌دهنده پراکندگی داده‌ها بیشتر است که این مطلب



شکل ۳- دیاگرام تیلور ارزیابی بارش ماهانه در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

ارزیابی روزانه

برای ارزیابی روزانه داده‌های بارش، دو روش ارزیابی مدنظر قرار گرفت. روش اول، ارزیابی داده‌ها به صورت کلی بدون در نظر گرفتن فصل‌های مختلف در ایستگاه‌های مطالعاتی و روش دوم ارزیابی داده‌های هواشناسی به صورت روزانه با تفکیک فصل‌ها بوده است که در زیر اطلاعات ارزیابی هر دو روش آمده است.

ارزیابی بارش روزانه بدون تفکیک فصول

جدول ۲ شاخص‌های ارزیابی و تشخیصی داده‌های شبکه‌بندی بارش روزانه را بدون تفکیک فصول نشان می‌دهد. در این جدول شاخص‌های ارزیابی دقت برآورد میزان بارش RMSE، BIAS، MBE، NSE و R و همچنین دقت تشخیص وقوع بارش POD، FAR و CSI را نشان می‌دهد. براساس مقادیر MBE موجود در جدول نتیجه می‌شود که داده‌های بارش برآورده شده توسط محصول ERA5 در همه ایستگاه‌ها با توجه به بیش از صفر بودنشان بیانگر بیش‌برآورد بودن داده‌های روزانه این محصول است که این موضوع با تحقیقات Bandhauer et al., (2022); Challis et al., (2021); Y. Jiang et al., (2022), and Lavers et al., (2021) مطابقت دارد؛ این در حالی است که داده‌های محصول P-CDR دارای مقادیر منفی MBE هستند که بیانگر کم‌برآورد بودن داده‌های این محصول در همه ایستگاه‌های موجود در محدوده مطالعاتی است. این مطلب نیز مطابق با تحقیق Kubota et al., (2009) براساس مقادیر BIAS موجود در جدول که نشان‌دهنده میزان بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی محصولات است، نتیجه می‌شود که کمترین این خطا مربوط به داده‌های ERA5 در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری است که میزان بارش را به میزان متوسط ۰/۰۴۷ یا به عبارتی ۴/۷ درصد بیش از داده‌های مشاهداتی برآورد کرده است و پس از آن نیز مربوط به داده‌های همین مجموعه داده در ایستگاه سپیددشت سزار است و بیشترین این مقدار مربوط به داده‌های P-CDR در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری و بعد از آن مربوط به داده‌های ERA5 در ایستگاه سد دز به ترتیب به میزان ۰/۵۸۹- و ۰/۴۵۴ است که بیانگر این است که این داده‌ها بارش را به ترتیب به میزان ۵۸/۹ درصد کم‌برآورد و ۴۵/۴ درصد بیش‌برآورد نشان داده‌اند. مقادیر RMSE موجود در این

جدول بیانگر دقت مدل در برآورد میزان بارش توسط داده‌های ERA5 و P-CDR است؛ بنابراین مشاهده می‌شود که با توجه به مقادیر RMSE در برآورد بارش روزانه در ایستگاه‌های تله‌زنگ و سد دز بهترین مدل برآوردگر بارش P-CDR و در ایستگاه‌های تنگ‌پنج بختیاری و سپیددشت سزار بهترین مدل مجموعه داده ERA5 است؛ همچنین بهترین دقت برآورد مربوط به مجموعه داده P-CDR در ایستگاه سد دز و بدترین عملکرد مدل، متعلق به برآورد همین مدل در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری است. این موضوع بیانگر عملکرد متفاوت محصولات بارش شبکه‌بندی شده است که می‌بایست عملکرد این محصولات در مکان‌های مختلف ارزیابی شود و مقادیر شاخص NSE نیز نتایج حاصل از شاخص RMSE را تأیید می‌کند. مقادیر R موجود در جدول نشان‌دهنده ضریب همبستگی خطی داده‌های محصولات بارشی با مقادیر مشاهداتی است؛ با توجه به مقادیر موجود در جدول نتیجه می‌شود که در تمامی ایستگاه‌ها مقادیر R محاسبه شده براساس مقادیر بارش برآورده شده محصول ERA5، بیشتر بوده که نشان‌دهنده هم‌خطی بیشتر این مجموعه داده با داده‌های مشاهداتی است. بهترین عملکرد نشان داده شده توسط این پارامتر مربوط به ایستگاه سپیددشت سزار بوده که نشان‌دهنده ضریب همبستگی خطی ۰/۷۲۹ در داده‌های بارش روزانه است. شاخص‌های تشخیصی ذکر شده در جدول ۲ بیانگر قدرت و توانایی تشخیص وقوع بارش در داده‌های شبکه‌بندی شده است. براساس مقادیر POD آورده شده در جدول که بیانگر تشخیص روزهای دارای وقوع بارش است که مدل این روزها را به درستی تشخیص داده است و مقدار ۱ بیانگر این است که مدل توانسته تمام روزهای دارای بارش را به درستی تشخیص دهد، مشخص می‌شود که در تمامی ایستگاه‌ها محصول ERA5 توانایی بیشتری در مشخص کردن روزهای بارندگی دارد؛ زیرا دارای مقادیر بیشتری نسبت به محصول P-CDR است. همچنین براساس مقادیر FAR که نشان‌دهنده این است که در واقع بارش رخ نداده، اما مدل وقوع بارش را نشان می‌دهد نیز می‌توان نتیجه گرفت در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه سد دز نیز مجموعه داده ERA5 اشتباه کمتری داشته است؛ زیرا دارای مقدار نرخ هشدار اشتباه کمتری نسبت به محصول P-CDR است؛ بنابر مطالب ذکر شده و همچنین

مقادیر CSI که عملکرد کلی مدل در تشخیص جدول ۲ شاخص‌های ارزیابی و تشخیصی داده‌های شبکه‌بندی بارش روزانه بدون تفکیک فصول وقایع بارش است، نتیجه می‌شود که داده‌های باز تحلیل توانایی بیشتری در همه ایستگاه‌ها به نمایش می‌گذارند.

جدول 2- شاخص‌های ارزیابی و تشخیصی داده‌های شبکه‌بندی بارش روزانه بدون تفکیک فصول

شاخص‌های ارزیابی								شاخص‌های تشخیصی
تله‌زنگ								
CSI	FAR	POD	R	NSE	RMSE	BIAS	MBE	
۰/۴۶۰	۰/۲۵۶	۰/۵۴۷	۰/۶۶۳	۰/۱۲	۶/۵۵۱	۰/۴۰۷	۰/۶۴۶	ERA5
۰/۳۹۹	۰/۲۵۹	۰/۴۶۴	۰/۵۳۶	۰/۲۶۵	۵/۹۸۹	-۰/۴۳۱	-۰/۶۸۵	P-CDR
سد دز								
CSI	FAR	POD	R	NSE	RMSE	BIAS	MBE	
۰/۴۵۱	۰/۲۹۸	۰/۵۵۸	۰/۶۸۲	۰/۰۵۸	۴/۹۴۸	۰/۴۵۴	۰/۴۷۵	ERA5
۰/۳۷۲	۰/۲۴۴	۰/۴۲۳	۰/۵۷۶	۰/۳۲۸	۴/۱۷۸	-۰/۲۲۵	-۰/۲۳۵	P-CDR
تنگ پنج بختیاری								
CSI	FAR	POD	R	NSE	RMSE	BIAS	MBE	
۰/۵۰۹	۰/۱۶۹	۰/۵۶۸	۰/۶۷۵	۰/۴۱۴	۷/۳۰۱	۰/۰۴۷	۰/۱۱۰	ERA5
۰/۳۹۶	۰/۲۶۰	۰/۴۶۰	۰/۵۰۴	۰/۱۹۹	۸/۵۳۶	-۰/۵۸۹	-۱/۳۶۴	P-CDR
سپیددشت سزار								
CSI	FAR	POD	R	NSE	RMSE	BIAS	MBE	
۰/۴۷۸	۰/۱۹۰	۰/۵۳۸	۰/۷۲۹	۰/۴۸۲	۴/۳۱۵	۰/۱۳۵	۰/۲۰۷	ERA5
۰/۳۹۵	۰/۲۳۶	۰/۴۵۰	۰/۵۸۷	۰/۳۲۸	۴/۹۱۲	-۰/۳۷۱	-۰/۵۷۱	P-CDR

ارزیابی بارش روزانه به تفکیک فصول

جدول 3 شاخص‌های ارزیابی مقدار و تشخیص بارش داده‌های شبکه‌بندی بارش روزانه را به تفکیک فصول در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. براساس مقادیر MBE که بیان‌کننده بیش‌برآورد و کم‌برآورد داده‌های شبکه‌بندی شده است، مشخص می‌شود که در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان که در محدوده مطالعاتی بارش اتفاق می‌افتد همچون ارزیابی داده‌ها بدون تفکیک فصول داده‌های محصول P-CDR کم‌برآورد و داده‌های محصول ERA5 در تمامی ایستگاه‌ها و تمامی فصل‌ها به جز پاییز بیش‌برآورد عمل می‌کنند که می‌تواند به منطقه کوهستانی حوضه دز نسبت داده شود و وجود یک اثر کوهستانی مطابق با نتایج (Khoshchehreh et al., 2021; Moazami et al., 2013) که اثر اوروگرافیک را در نزدیکی کوه‌های زاگرس نشان داد. همچنین بر مبنای مقادیر این پارامتر مشخص می‌شود، بیشترین میزان تفاوت در فصل

زمستان و پس از آن در فصل پاییز است که این مقادیر به دلیل تفاوت در برآورد بارش در فصل‌های دارای بارش توسط محصولات بارش شبکه‌بندی است و در فصل تابستان که میزان ریزش‌ها بسیار کم و نزدیک به صفر است، میزان MBE به دلیل کم‌بودن اختلاف‌ها دارای مقادیر مثبت و منفی نزدیک به صفر است. مقادیر RMSE و NSE موجود در جدول 3 نشان می‌دهد که فصل‌های دارای بارش به دلیل برآورد متفاوت میزان بارش دارای مقادیر بدتر و فصل تابستان به دلیل برآورد کمتر و نزدیک‌تر میزان بارش به صفر دارای مقادیر بهینه‌تر هستند. این موضوع در رابطه با مقادیر ضریب همبستگی نیز صادق است؛ به گونه‌ای که مقادیر ضریب همبستگی در فصل تابستان دارای مقادیر بیشتر است که دلیل آن میزان صفر برآورد بارش در فصل بدون بارش است. این مسأله باعث می‌شود مقدار ضریب همبستگی رقم بالایی را به خود اختصاص دهد. مقدار این ضریب در فصل تابستان

جدول نیز نشان‌دهنده توانایی قدرت مدل در آشکارسازی روزهای دارای واقعه بارش و روزهای بدون بارش است. بهترین مجموعه داده در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان براساس مقادیر CSI مربوط به محصول ERA5 در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری است. همچنین مشاهده می‌شود که در فصل تابستان در ایستگاه تله‌زنگ میزان POD، FAR و CSI به ترتیب صفر، یک و صفر است. برآورد این مقادیر به این صورت، بیانگر این موضوع است که هیچ واقعه بارشی نبوده است که مدل آن را به درستی تشخیص دهد، به همین دلیل مقدار POD برابر با صفر شده است و در چنین حالتی FAR برابر با یک خواهد بود. همچنین FAR برابر با صفر در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری در فصل تابستان بیانگر این موضوع است که هر روز دارای بارش توسط مدل نمایش داده شده است.

در ایستگاه تله زنگ دارای مقدار بسیار اندکی شده و این امر همان‌طور که در بالا ذکر شد، به این دلیل است که میزان بارش در فصل تابستان در واقع صفر است. حال اگر پایگاه‌های داده مقدار بارش برای برخی روزها برآورد کنند، همبستگی خطی بین داده‌ها از بین خواهد رفت؛ این موضوع توسط شاخص FAR برابر با 1 تأیید شده است. به این معنی که تمامی رویدادهای بارشی زمانی انجام گرفته که در واقع بارشی رخ نداده است. مقادیر پارامتر ضریب همبستگی خطی در فصول مختلف و ایستگاه‌های چهارگانه در جدول آمده است؛ برای مثال میزان ضریب همبستگی محصول ERA5 با داده‌های باران‌سنجی در ایستگاه سپیددشت سزار فصل بهار 0/727، و این مقدار در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری در فصل پاییز 0/715 است. شاخص‌های تشخیصی موجود در

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی و تشخیصی داده‌های شبکه‌بندی بارش روزانه به تفکیک فصول

فصل بهار								
شاخص‌های تشخیصی				شاخص‌های ارزیابی				
CSI	FAR	POD	R	NSE	RMSE	BIAS	MBE	Dataset
۰/۴۲۲	۰/۳۲۶	۰/۵۳۰	۰/۶۵۶	۰/۱۱۶	۵/۹۲۸	۰/۳۲۹	۰/۴۳۴	ERA5
۰/۳۶۷	۰/۲۷۱	۰/۴۲۵	۰/۵۴۱	۰/۲۶	۵/۴۲۲	-۰/۴۱۶	-۰/۵۴۸	P-CDR
۰/۴۱۳	۰/۳۸۹	۰/۵۵۹	۰/۶۹۷	۰/۰۱۱	۴/۲۵۴	۰/۳۳۲	۰/۲۷۹	ERA5
۰/۲۸۸	۰/۳۰۶	۰/۳۳۰	۰/۵۲۳	۰/۲۷۲	۳/۶۵۱	-۰/۱۹۹	-۰/۱۶۷	P-CDR
۰/۴۴۵	۰/۱۸۶	۰/۴۹۶	۰/۶۵۱	۰/۳۶۷	۷/۱۱۹	۰/۰۳۴	۰/۰۶۸	ERA5
۰/۳۵۹	۰/۲۴۸	۰/۴۰۷	۰/۵۰۵	۰/۱۹۶	۸/۰۲۶	-۰/۵۵۹	-۱/۱۰۷	P-CDR
۰/۴۲۶	۰/۱۹۴	۰/۴۷۴	۰/۷۲۷	۰/۵۰۱	۴/۳۱۹	۰/۱۰۸	۰/۱۶۲	ERA5
۰/۳۷۵	۰/۲۳۱	۰/۴۲۳	۰/۵۸۴	۰/۳۲۴	۵/۰۲۹	-۰/۳۶۱	-۰/۵۴۳	P-CDR
فصل تابستان								
CSI	FAR	POD	R	NSE	RMSE	BIAS	MBE	Dataset
۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۲	-۱/۳۴	۰/۹۰۶	۰/۴۶۹	۰/۰۱۰	ERA5
۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۲	-۱/۴۴	۰/۹۲۵	۰/۸۳۷	۰/۰۱۸	P-CDR
۰/۱۱۱	۰/۶۶۷	۰/۱۴۳	۰/۹۷۵	۰/۶۷۱	۰/۵۵۰	-۰/۴۰۰	-۰/۰۱۳	ERA5
۰/۲۰۰	۰/۳۳۳	۰/۲۲۲	۰/۸۶۵	۰/۶۶۴	۰/۵۵۶	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	P-CDR
۰/۶۶۷	۰/۰۰۰	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۰/۷۸	۰/۴۴۹	-۰/۱۷۹	-۰/۰۰۶	ERA5
۰/۰۸۳	۰/۰۰۰	۰/۰۸۳	۰/۹۰۷	۰/۷۶۴	۰/۴۶۵	۰/۵۳۸	۰/۰۱۹	P-CDR
۰/۱۸۲	۰/۶۰۰	۰/۲۵۰	۰/۸۷۳	۰/۷۰۹	۰/۴۲۸	-۰/۲۴۴	-۰/۰۰۹	ERA5
۰/۱۱۱	۰/۴۰۰	۰/۱۲۰	۰/۷۶۶	۰/۵۷۱	۰/۵۱۹	۰/۳۶۶	۰/۰۱۳	P-CDR

ادامه جدول ۳-

فصل پاییز								
Dataset	MBE	BIAS	RMSE	NSE	R	POD	FAR	CSI
ERA5	۰/۵۱۲	۰/۲۲۴	۷/۱۲۸	۰/۲۸۸	۰/۶۹۵	۰/۶۲۰	۰/۲۷۹	۰/۵۰۰
P-CDR	-۰/۹۵۴	-۰/۴۱۶	۶/۹۲۳	۰/۳۲۸	۰/۶۰۰	۰/۵۵۸	۰/۱۸۰	۰/۴۹۷
ERA5	-۰/۵۹۰	۰/۳۷۳	۵/۹۸۸	۰/۰۷۳	۰/۶۸۴	۰/۶۳۴	۰/۲۹۳	۰/۵۰۲
P-CDR	-۰/۳۶۰	-۰/۲۲۸	۴/۷۶۱	۰/۴۱۴	۰/۶۴۲	۰/۵۵۲	۰/۱۶۵	۰/۴۹۸
ERA5	-۰/۶۱۸	-۰/۱۷۸	۸/۷۶۷	۰/۵۱۳	۰/۷۱۵	۰/۶۳۹	۰/۲۲۴	۰/۵۳۹
P-CDR	-۲/۱۱۸	-۰/۶۱۰	۱۱/۲۰۲	۰/۲۰۶	۰/۵۱۷	۰/۵۵۴	۰/۱۸۹	۰/۴۹۱
ERA5	-۰/۲۱۲	-۰/۰۹۷	۴/۵۰۵	۰/۶۲۸	۰/۷۹۲	۰/۶۱۲	۰/۲۱۱	۰/۵۲۶
P-CDR	-۰/۸۷۳	-۰/۳۹۹	۵/۸۰۶	۰/۳۸	۰/۶۴۴	۰/۵۳۹	۰/۱۳۹	۰/۴۹۶
فصل زمستان								
Dataset	MBE	BIAS	RMSE	NSE	R	POD	FAR	CSI
ERA5	-۱/۶۷۷	۱/۵۹۸	۹/۳۲۵	-۰/۰۶۹	۰/۶۲۸	۰/۵۲۲	۰/۱۹۱	۰/۴۶۵
P-CDR	-۱/۲۸۹	-۰/۴۶۲	۸/۱۸۲	۰/۱۷۷	۰/۴۴۸	۰/۴۴۴	۰/۳۰۵	۰/۳۷۲
ERA5	۱/۰۷۱	۰/۶۰۳	۶/۶۹۹	۰/۰۴۳	۰/۶۶۰	۰/۵۱۸	۰/۲۴۵	۰/۴۴۳
P-CDR	-۰/۴۲۷	-۰/۲۴۰	۵/۸۶۳	۰/۲۶۶	۰/۵۰۴	۰/۳۹۷	۰/۲۷۶	۰/۳۴۵
ERA5	۱/۰۰۸	۰/۲۶۱	۹/۳۶۱	۰/۲۸	۰/۶۵۲	۰/۵۶۸	۰/۱۱۸	۰/۵۲۷
P-CDR	-۲/۳۱۱	-۰/۵۹۷	۱۰/۲۱۳	۰/۱۴۳	۰/۴۳۹	۰/۴۵۲	۰/۳۲۱	۰/۳۷۲
ERA5	۰/۹۰۳	۰/۳۶۲	۶/۰۰۷	۰/۲۶۲	۰/۶۷۹	۰/۵۴۲	۰/۱۶۳	۰/۴۹۰
P-CDR	-۰/۹۰۳	-۰/۳۶۳	۶/۱۷۲	۰/۲۲۱	۰/۴۸۷	۰/۴۲۴	۰/۳۰۸	۰/۳۵۷

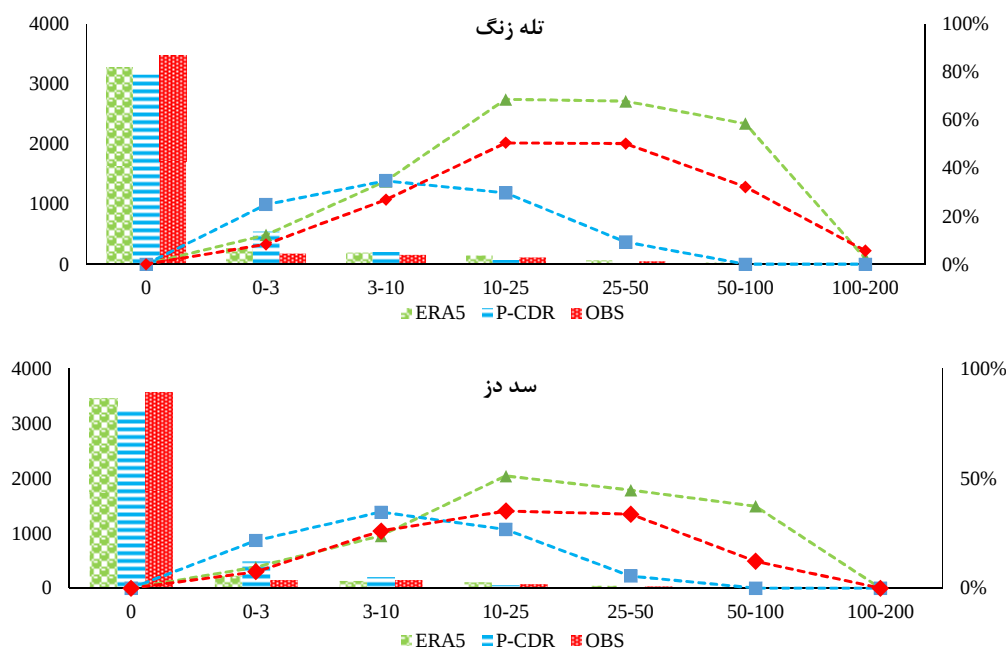
توزیع بارش‌های روزانه در کلاس‌های بارشی مختلف

شکل 4 مجموع بارش روزانه در کلاس‌های بارندگی‌های مختلف (نمودارهای خطی) و درصد بارش مربوط به آن‌ها (نمودار میله‌ای) را از سال 2008 تا 2019 در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. شدت بارندگی براساس استاندارد تقسیم شدت بارندگی به 7 طبقه تقسیم شده است (Xu et al., 2015; Zhu et al., 2018). تفاوت بین مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی شده و داده‌های مشاهداتی بر نتایج توزیع شدت بارندگی به‌طور عمده در رویدادهای بارش زیر 10 میلی‌متر منعکس می‌شود. بدیهی است که روزهای غیربارانی بزرگ‌ترین رخداد برای همه داده‌های بارش در محدوده مطالعاتی است که در دسته داده‌های مشاهداتی بیشترین آن حدود 89 درصد در ایستگاه سد دز و کمترین آن 86 درصد کل روزها در ایستگاه‌های تنگ‌پنج بختیاری و سپیددشت سزار را شامل می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تعداد روزهای غیربارانی داده‌های مشاهداتی از همه مجموعه داده‌ها در تمامی ایستگاه‌ها بیشتر است و

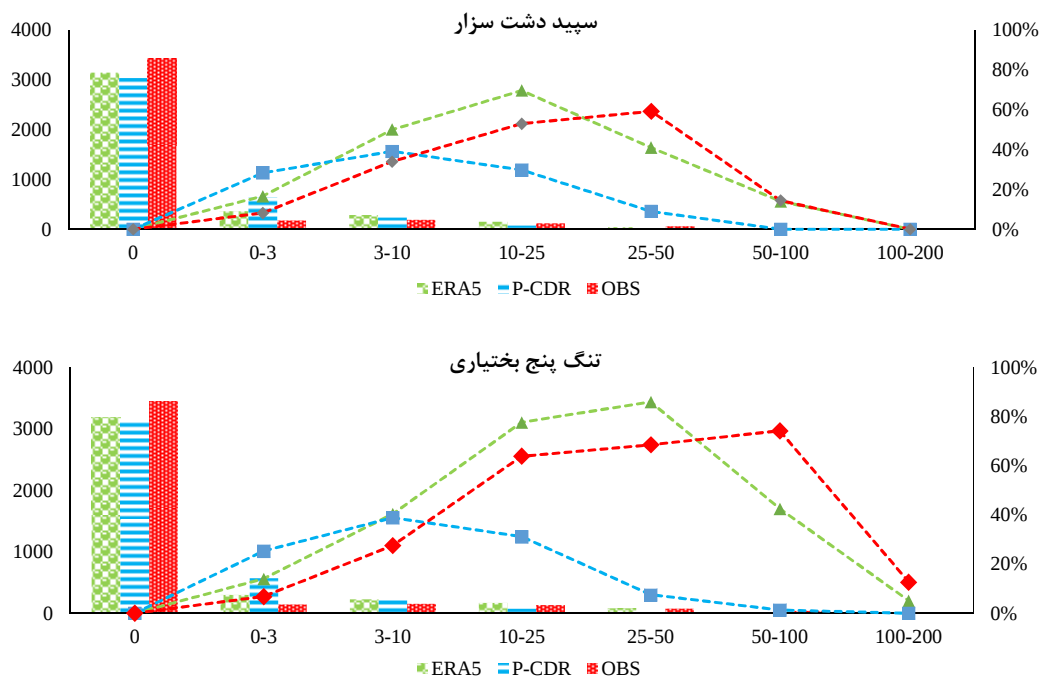
داده ERA5 در نشان‌دادن تعداد روزهای غیربارانی نزدیک‌تر به مقادیر مشاهداتی نسبت به داده‌های P-CDR عمل می‌کند. این در حالی است که در برآورد روزهای دارای بارش سبک (میلی‌متر 3 < بارش < صفر میلی‌متر) در همه مجموعه داده‌ها و همه ایستگاه‌ها، بارش برآورده شده دارای مقدار بیشتری نسبت به داده‌های مشاهداتی است. همچنین مقدار تجمعی این دسته بارش نیز نشان‌دهنده این است که مقدار بارش تجمعی مشاهداتی نسبت به بارش شبکه‌بندی شده کمتر است. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد این برآورد توسط داده‌های محصول P-CDR در برآورد تعداد این بارش‌ها است. در برآورد روزهای دارای بارش متوسط (10 میلی‌متر < بارش < 3 میلی‌متر) نشان داده شده که درصد داده‌های مشاهداتی و شبکه‌بندی شده به یکدیگر نزدیک است و حدود 5 تا 6 درصد از داده‌ها را شامل می‌شود و جمع تجمعی هر کدام از این مجموعه داده‌ها در ایستگاه‌های تله‌زنگ، سد دز و تنگ‌پنج بختیاری دارای مقادیر نسبتاً نزدیک به هم است؛ درحالی که در ایستگاه

میلی‌متر مجموعه داده P-CDR توانایی کمتری نسبت به مجموعه داده ERA5 دارد؛ بنابراین و به‌طور کلی مجموعه داده‌های بازتحلیل (ERA5) عملکرد بهتری نسبت به مجموعه داده‌های ماهواره-باران‌سنجی (P-CDR) دارد؛ بنابراین نتایج مربوط به دقت بالای این پایگاه داده در تخمین بارش که در مطالعه حاضر حاصل آمد، با مطالعات انجام‌شده در سایر مناطق جهان هم‌سو و مطابق است (Jiang et al., 2021; Rakhmatova et al., 2021). همچنین پایگاه داده ERA5 در پژوهش‌های محدودی در داخل کشور بررسی و ارزیابی شد؛ برای مثال پژوهشی که به ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران پرداخت که بیان کرد بارش برآوردی این پایگاه در ماه‌های بارشی قابلیت اعتماد بالایی دارد (Heidari, Karimi and Beyranvand, 2024) و در پژوهشی دیگر که در بالادست حوضه مارون انجام شد، نتایج حاکی از برتر بودن مجموعه داده ERA5 نسبت به دو محصول شبکه‌بندی TRMM و PERSIANN-CCS بوده است (Gorjizade et al., 2020b). همچنین نتایج تحقیقی که در سطح حوضه کارون انجام شده بود، حاکی از برتری منبع بارش داده‌های بازتحلیل نسبت به منابع بارش دیگر بود (Rahmati and Massah Bavani, 2019).

سپیددشت سزار با یکدیگر متفاوت است؛ برای مثال مقدار تجمعی داده‌های بارش متوسط ERA5 در ایستگاه مذکور 2001 میلی‌متر است در حالی که مقدار مشاهداتی این نوع بارش 1357 میلی‌متر و داده‌های P-CDR دارای مقدار 1563 میلی‌متر است. کلاس بارش سنگین (10 میلی‌متر > بارندگی > 25 میلی‌متر) درصد مشابهی (حدود 2 تا 4 درصد) از کل روزها را برای تمامی مجموعه داده‌ها شامل می‌شود. براساس مقادیر بارش تجمعی داده‌های بارش ایستگاهی و شبکه‌بندی شده می‌توان میزان نزدیکی هر مجموعه داده را در انواع بارش مشخص کرد؛ برای مثال در کلاس بارش سنگین (10 میلی‌متر > بارندگی > 25 میلی‌متر) در تمامی ایستگاه‌ها بهترین مدل نسبت به ERA5 نزدیک‌ترین میزان بارش تجمعی به داده‌های مشاهداتی بوده و بیش‌برآورد بودن داده‌های این محصول را نشان می‌دهد. در بارش‌های بیش از 25 میلی‌متر مجموعه داده ERA5 نتایج قابل‌قبول‌تری را نسبت به مجموعه داده دیگر ارائه می‌دهد و در بارش‌های حداکثری (200 میلی‌متر < بارش < 100 میلی‌متر) در ایستگاه تنگ‌پنج بختیاری که دارای بارش در این دسته است، مقداری را برآورد کرده و دقیق‌تر از P-CDR عمل کرده است. به‌طور کلی نتیجه می‌شود در بارش‌های بیش از 10



شکل ۴- مجموع بارش روزانه در کلاس‌های بارندگی‌های مختلف (نمودارهای خطی) و درصد بارش مربوط به آن‌ها (نمودار میله‌ای) از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی



ادامه شکل ۴ -

نتیجه‌گیری

این مطالعه به ارزیابی داده‌های شبکه‌بندی بارش محصولات تحلیل مجدد ERA5 و ماهواره-باران‌سنجی PERSIANN-CDR در حوضه آبریز کوهستانی دز پرداخته است؛ بدین‌جهت از داده‌های تأییدشده سازمان آب و برق خوزستان در ۴ ایستگاه هواشناسی تله‌زنگ، سد دز، تنگ پنج بختیاری و سپیددشت سزار از ابتدای سال ۲۰۰۸ تا پایان سال ۲۰۱۹ استفاده شد. برای انجام ارزیابی سالانه، میزان بارش سالانه برآوردشده توسط داده‌های شبکه‌بندی با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد بررسی ترسیم و پراکندگی کلیه داده‌ها توسط نمودارهای جعبه‌ای نمایش داده شد. برای انجام ارزیابی ماهانه، دیاگرام تیلور محصولات بارش شبکه‌بندی‌شده ترسیم و تناسب هرکدام از داده‌ها مشخص شد. همچنین برای ارزیابی روزانه داده‌های بارش دو روش ارزیابی مدنظر قرار گرفت؛ روش اول، ارزیابی داده‌ها به‌صورت کلی بدون درنظرگرفتن فصل‌های مختلف در ایستگاه‌های مطالعاتی و روش دوم ارزیابی داده‌های هواشناسی به‌صورت روزانه با تفکیک فصل‌ها بوده است که برای ارزیابی روزانه ۴ شاخص BIAS, RMSE, MBE و R و در مقیاس روزانه علاوه‌بر چهار شاخص ذکرشده سه

شاخص طبقه‌بندی POD, FAR و CSI نیز محاسبه شد. همچنین در ارزیابی روزانه، مجموع بارش روزانه در کلاس‌های بارندگی‌های مختلف و درصد بارش مربوط به هر کدام در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی مشخص شد. در برآورد بارش سالانه محصولات بارش با درنظرگرفتن مقادیر RMSE در هر ۴ ایستگاه مشاهده می‌شود، عملکرد هیچ یک از دو مدل در برآورد بارش سالانه مناسب نیست. همچنین نتایج نشان داد در برآورد بارش روزانه، ماهانه و سالانه در ایستگاه‌های تله‌زنگ و سد دز، بهترین مدل برآوردها محصول P-CDR و در ایستگاه‌های تنگ پنج بختیاری و سپیددشت سزار بهترین مجموعه داده، پایگاه ERA5 است. براین‌اساس بیشترین میزان RMSE در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه به‌ترتیب برابر با ۸/۲، ۷۶/۰۹۸ و ۵۴۲/۲۴ میلی متر و همچنین بهترین مقدار NSE روزانه مربوط به محصول پایگاه ERA5 در ایستگاه سپیددشت سزار با مقدار ۰/۴۸۲ است. بیشترین میزان ضریب همبستگی مربوط به داده‌های ERA5 در ایستگاه سپیددشت با مقدار ۰/۷۲۹ و از نظر شاخص‌های تشخیص بارش POD و FAR بهترین مقدار به‌ترتیب با مقادیر ۰/۵۶۸ و ۰/۱۶۹ مربوط به داده‌های مجموعه داده پایگاه ERA5 در ایستگاه تنگ پنج بختیاری هستند.

13

7. Fujihara Y. Yamamoto Y. Tsujimoto Y. and Sakagami J. I. 2014. Discharge Simulation in a Data-Scarce Basin Using Reanalysis and Global Precipitation Data: A Case Study of the White Volta Basin. *Journal of Water Resource and Protection*, 06(6): 1316–1325.
<https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.614121>
8. Gao Y. Chen F. and Jiang Y. 2020. Evaluation of a Convection-Permitting Modeling of Precipitation over the Tibetan Plateau and Its Influences on the Simulation of Snow-Cover Fraction. *Journal of Hydrometeorology*, 21(7): 1531–1548.
<https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0277.1>
9. Gorjizade A. Akhond-Ali A. Shahbazi A. and Moridi A. 2019. Comparison of Two High-resolution Gridded Precipitation Data Sets at the Upstream of Maroun Dam in Iran. *Water and Soil Resarch Journal*, 50(3): 527–541. (In Persian)
10. Gorjizade A. Akhond-Ali A. Shahbazi A. and Salmannia F. 2022. Derivation of rainfall events using the gridded rainfall data using optimal combination of global rainfall datasets. *Knowledge of water and soil*, 32(2): 43–58. (In Persian)
11. Gorjizade A. Akhond-Ali A. M. Shahbazi A. and Moridi A. 2020. Evaluation and Comparison of High Spatial Resolution Gridded Precipitation by TRMM, ERA5, and PERSIANN-CCS Datasets on the Upstream of the Maroon Basin, Iran. *AUT Journal of Civil Engineering*, 4(4): 529–542.
<https://doi.org/10.22060/AJCE.2020.17043.5610>
12. Gu J. Ye Y. Jiang Y. Dong J. Cao Y. Huang J. and Guan H. 2023. A downscaling-calibrating framework for generating gridded daily precipitation estimates with a high spatial resolution. *Journal of Hydrology*, 626.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130371>
13. Heidari S. Karimi M. and Beyranvand A. 2024. Evaluation the performance of ERA5 reanalysis data in Iran's rainfall estimation and spatial analysis of the country's precipitation regime. *Researches in Earth Sciences*, 15(2): 1–24. (In Persian)
14. Hong Y. Xuan Do H. Kessler J. Fry L. Read L. Rafieei Nasab A. Gronewold A. D. Mason L. and Anderson E. J. 2022. Evaluation of gridded precipitation datasets over international basins and large lakes. *Journal of Hydrology*, 607, pp.127507.
<https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2022.127507>

سیاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه شهید چمران اهواز بابت حمایت‌هایی که در این پروژه تحقیقاتی انجام داده است، قدردانی می‌کنم.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافع در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع

1. Ashouri H. Hsu K. L. Sorooshian S. Braithwaite D. K. Knapp K. R. Cecil L. D. Nelson B. R. and Prat O. P. 2015. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1): 69–83.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1>
2. Balsamo G. Albergel C. Beljaars A. Boussetta S. Brun E. Cloke H. and Dee D. 2015. ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1): 389–407.
<https://doi.org/10.5194/hess-19-389-2015>
3. Bandhauer M. Isotta F. Lakatos M. Lussana, C. Båserud L. Izsák B. Szentes O. Tveito O. E. and Frei C. 2022. Evaluation of daily precipitation analyses in E-OBS (v19.0e) and ERA5 by comparison to regional high-resolution datasets in European regions. *International Journal of Climatology*, 42(2): 727–747. <https://doi.org/10.1002/JOC.7269>
4. Challis J. K. Popick H. Prajapati S. Harder P. Giesy J. P. McPhedran K. and Brinkmann, M. 2021. Occurrences of Tire Rubber-Derived Contaminants in Cold-Climate Urban Runoff. *Environmental Science and Technology Letters*, 8(11).
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00682>
5. Dee D. P. Uppala S. M. Simmons A. J. Berrisford P. Poli P. Kobayashi S. and Andrae U. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656): 553–597.
<https://doi.org/10.1002/qj.828>
6. Duan Z. Liu J. Tuo Y. Chiogna G. and Disse M. 2016. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of The Total Environment*, 573: 1536–1553.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.2>

- R. Ma J. and Zheng H. 2024. Multi-dimensional evaluation of four monthly long-term and high-resolution gridded precipitation datasets on the Qinghai-Tibet Plateau. *Atmospheric Research*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107226>
24. Moazami S. Golian S. Kavianpour M. R. and Hong Y. 2013. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 34(22): 8156-8171. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.833360>
25. Navidi Nassaj B. Zohrabi N. Nikbakht Shahbazi A. and Fathian H. 2022. Evaluating the performance of eight global gridded precipitation datasets across Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2022.101297>
26. Nguyen L. H. Nguyen D. L. and Nguyen H. H. 2023. Assessing applicability of two gridded precipitation datasets for hydrological simulation in a poorly gauged river basin towards supporting sustainable water resources management. *Environmental Research*, 237: 116956. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.116956>
27. Rahmati A. and Massah Bavani A. 2019. Evaluation of the global rainfall datasets for use in physical models, Case study: Karoun Basin. *Iran-Water Resources Research*, 15(1): 178–192. (In Persian)
28. Rahmati Ziveh A. Bakhtar A. Shayeghi A. Kalantari Z. Bavani A. M. and Ghajarnia N. 2022. Spatio-temporal performance evaluation of 14 global precipitation estimation products across river basins in southwest Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44: 101269. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2022.101269>
29. Rakhmatova N. Arushanov M. Shardakova L. Nishonov B. Taryannikova R. Rakhmatova V. and Belikov D. A. 2021. Evaluation of the Perspective of ERA-Interim and ERA5 Reanalyses for Calculation of Drought Indicators for Uzbekistan. *Atmosphere* 12(5): 527, <https://doi.org/10.3390/ATMOS12050527>
30. Rao P. Wang, F. Yuan X. Liu Y. and Jiao Y. 2024. Evaluation and comparison of 11 sets of gridded precipitation products over the Qinghai-Tibet Plateau. *Atmospheric Research*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107226>
15. Hsu K. Gao X. Sorooshian S. and Gupta H. V. 1997. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9): 1176–1190. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1997\)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2)
16. Hu Z. Zhou Q. Chen X. Li J. Li Q. Chen D., Liu W. and Yin G. 2018. Evaluation of three global gridded precipitation data sets in central Asia based on rain gauge observations. *International Journal of Climatology*, 38(9): 3475–3493. <https://doi.org/10.1002/JOC.5510>
17. Jiang Q. Li W. Fan Z. He X. Sun W. Chen S. Wen J. Gao J. and Wang J. 2021a. Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland. *Journal of Hydrology*, 595: 125660. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.125660>
18. Jiang Y. Yang K. Shao C. Zhou X. Zhao L. Chen Y. and Wu H. 2021b. A downscaling approach for constructing high-resolution precipitation dataset over the Tibetan Plateau from ERA5 reanalysis. *Atmospheric Research*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105574>
19. Keikhosravi-Kiany M. S. Masoodian S. A. and Balling, R. C. 2023. Reliability of satellite-based precipitation products in capturing extreme precipitation indices over Iran. *Advances in Space Research*, 71(3): 1451–1472. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2022.10.003>
20. Khoshchreh M. Ghomeshi M. Shahbazi A. Bolboli H. Saberi H. and Gorjizade A. 2021. Spatial and temporal evaluation of global rainfall products in a data-scarce region: The Dez Basin, Iran. *Journal of Water and Land Development*, 48: 148–161. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.136158>
21. Kubota T. Ushio T. Shige, S. Kida S. Kachi, M. and Okamoto K. 2009. Verification of High-Resolution Satellite-Based Rainfall Estimates around Japan Using a Gauge-Calibrated Ground-Radar Dataset. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 87A: 203–222. <https://doi.org/10.2151/JMSJ.87A.203>
22. 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). <https://doi.org/10.1002/qj.4351>
23. Meng N. Yang Y. Qi W. Zhu J. Dai X. Li

- ground and satellite-based data. *Solar Energy*, 164: 339–354.
40. Wei Z. He X. Zhang Y. Pan M. Sheffield J. Peng L. and Yamazaki D. 2020. Identification of uncertainty sources in quasi-global discharge and inundation simulations using satellite-based precipitation products. *Journal of Hydrology*, 589: 125180. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.125180>
 41. Wolkeba F. T. and Mekonnen M. M. 2024. Evaluation of gridded precipitation data in water availability modeling in CONUS. *Journal of Hydrology*, 628: 130575. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2023.130575>
 42. Worqlul A. W. Maathuis B. Adem A. A. Demissie S. S. Langan S. and Steenhuis T. S. 2014. Comparison of rainfall estimations by TRMM 3B42, MPEG and CFSR with ground-observed data for the Lake Tana basin in Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12): 4871–4881.
 43. Xu H. Xu C. Y. Sælthun N. R. Zhou B. and Xu Y. 2015. Evaluation of reanalysis and satellite-based precipitation datasets in driving hydrological models in a humid region of Southern China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-1007-z>
 44. Yao J. Chen Y. Yu X. Zhao Y. Guan X. and Yang L. 2020. Evaluation of multiple gridded precipitation datasets for the arid region of northwestern China. *Atmospheric Research*, 236: 104818. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2019.104818>
 45. Zhang L. Ren D. Nan Z. Wang W. Zhao Y. Zhao Y. Ma Q. and Wu X. 2020. Interpolated or satellite-based precipitation? Implications for hydrological modeling in a meso-scale mountainous watershed on the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Hydrology*, 583: 124629. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.124629>
 46. Zhu H. Li Y. Huang Y. Li Y. Hou C. and Shi X. 2018. Evaluation and hydrological application of satellite-based precipitation datasets in driving hydrological models over the Huifa river basin in Northeast China. *Atmospheric Research*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.02.022>
 31. Siasar H. and Salari A. 2023. Evaluation of Precipitation Data using CHIRPS and PERSIANN Models (Case Study: Bandar Abbas). *Journal of Water and Soil Sciences*, 27(1): 175–188. (In Persian)
 32. Sorooshian S. Hsu K. L. Gao X. Gupta H. V. Imam B. and Braithwaite D. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<2035:EOPSSE>2.3.CO;2)
 33. Tan M. L. and Santo H. 2018. Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*, 202: 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.006>
 34. Tan X. Ma Z. He K. Han X. Ji Q. and He Y. 2020a. Evaluations on gridded precipitation products spanning more than half a century over the Tibetan Plateau and its surroundings. *Journal of Hydrology*, 582. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124455>
 35. Tan X. Ma, Z. He K. Han X. Ji Q. and He Y. 2020b. Evaluations on gridded precipitation products spanning more than half a century over the Tibetan Plateau and its surroundings. *Journal of Hydrology*, 582: 124455. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2019.124455>
 36. Tapiador F. J. Turk F. J. Petersen W. Hou A. Y. García-Ortega E. Machado L. A. T. and Angelis C. F. 2012. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*, 104-105, 70-97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.10.021>
 37. 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/10.1029/2000JD900719>
 38. Thiemig V. Rojas R. Zambrano-Bigiarini M. and De Roo A. 2013. Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin. *Journal of Hydrology*, 499: 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.012>
 39. Urraca R. Huld T. Gracia-Amillo A. Martinez-de-Pison F. J. Kaspar F. and Sanz-Garcia A. 2018. Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalyses using

