

ارزیابی عملکرد محصولات ماهواره‌های جهانی در شبیه‌سازی بارش نواحی شهری شمال شرق ایران

مهدی زارعی^{۱*}، هادی سلطانی‌فرد^۲، رسول سروستان^۳

چکیده

مقاله پژوهشی

انتخاب مدل مناسب برای شبیه‌سازی بارش نقش مهمی در پیش بینی وقایع هیدرولوژیکی دارد. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی دقت بارش شبیه‌سازی شده در نواحی شمال شرق ایران با استفاده از چهار محصول ماهواره‌ای GPM و GSMaP، ERA5، PERSIANN-CDR در سامانه گوگل ارث انجین هدفگذاری شده است. بدین منظور داده‌های چهار رویداد بارش موجود در ۱۷ ایستگاه سینوپتیک مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد محصولات فوق در برآورد بارش با استفاده از کمیت‌های راستی آزمایشی امتیاز تهدید، نسبت هشدارهای نادرست، آهنگ برخورد و آهنگ هشدارهای تقلبی ارزیابی گردید. نتایج حاکی از عملکرد بهتر محصولات PERSIANN-CDR و ERA5 و عملکرد ضعیف محصول GPM نسبت به سایر محصولات می‌باشد. به‌طوریکه بارش PERSIANN-CDR در ۹ ایستگاه خطای کمتر از ۰/۷۵، بارش ERA5 در ۸ ایستگاه خطای کمتر از ۰/۵۰ و بارش حاصل از GPM تنها در ۴ ایستگاه خطای کمتر از ۰/۷۵ را نشان می‌دهد. همچنین بر اساس نتایج در برخی ایستگاه‌ها، به‌طور کلی یک محصول عملکرد بهتری نسبت به دیگر محصولات داشته و در برخی ایستگاه‌ها نیز چندین محصول دقت مشابهی را ارائه داده‌اند. به‌عنوان مثال، بهترین دقت در شبیه‌سازی بارش توسط PERSIANN در ایستگاه‌های درگز و قوچان ۰/۵۰ و ۰/۲۵ به ثبت رسیده است. از طرفی هیچکدام از محصولات مورد استفاده در ایستگاه‌های سبزوار و فریمان دقت مناسبی در شبیه‌سازی نداشته و امتیاز صفر کسب کرده‌اند. همچنین دو محصول PERSIANN و ERA5 با دقت مشابهی بارش را در ایستگاه‌هایی نظیر کاشمر و تایباد برآورد نمودند. بنابراین محصولات PERSIANN-CDR و ERA5 ابزارهای کارآمدتری برای شبیه‌سازی بارش در نواحی خشک و نیمه‌خشک شمال شرق ایران هستند. نتایج به‌دست‌آمده بر ضرورت استفاده از مدل‌های چندگانه برای افزایش دقت شبیه‌سازی‌ها و همچنین بهبود الگوریتم‌های پیش‌بینی بارش تأکید دارد. این نتایج می‌توانند به‌عنوان مبنایی علمی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و توسعه استراتژی‌های پیش‌بینی اقلیمی و هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی:

بارش، شبیه‌سازی، محصولات ماهواره‌ای، شمال شرق ایران.

۱. دانشیار، گروه پژوهشی جغرافیا، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

m.zarei@hsu.ac.ir

* نویسنده مسئول

۲. دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

h.soltanifard@hsu.ac.ir

۳. پژوهشگر پسادکتری، گروه پژوهشی جغرافیا، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

r.sarvestan@gmail.com

شناسه مقاله: ۲۴۱۰-۱۰۷۹

شماره صفحه پایایی: ۵۲۳-۵۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸

انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹

زمان پذیرش: ۶۰۰

استناددهی:

زارعی، م، سلطانی‌فرد، ه، و سروستان، ر. (۱۴۰۲). ارزیابی عملکرد محصولات ماهواره‌های جهانی در شبیه‌سازی بارش نواحی شهری شمال شرق ایران. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۳)، ۱۶-۲۹.

۱- مقدمه

بارش یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژیک محسوب می‌شود (Wu et al., 2021; Veetil, 2020)، بنابراین تخمین دقیق بارش در زمان و مکان از اهمیت بسیار بالایی برای درک بهتر سیستم‌های منابع آبی، اقلیم‌شناسی، کشاورزی و غیره برخوردار است (Wanniarachchi and Sarukkalgige, 2022). به‌طور معمول، شبکه‌های باران‌سنج در بسیاری از مناطق جهان پراکنش مکانی مناسبی ندارند تا بتوانند نماینده‌ای از بارش با تغییرات زمانی و مکانی زیاد باشند (Morbidelli et al., 2020; Merino et al., 2021). بنابراین تخمین بارش مبتنی بر محصولات ماهواره‌ای می‌تواند کمبود داده‌های بارش در مناطق با پراکنش نامناسب ایستگاه باران‌سنجی و همچنین در مناطق فاقد ایستگاه را برطرف کند (Abdollahipour et al., 2022; Boluwade, 2020; Kofidou et al., 2023; de Brito et al., 2022). این محصولات بارشی می‌توانند مبنای ارزشمندی برای پیش‌خشک‌سالی، ترسالی، هشدار زودهنگام سیل و سایر فرآیندهای هیدرولوژیکی فراهم آورند (Xu et al., 2020; Hinge et al., 2021). داده‌های بارش مبتنی بر سنجش‌ازدور به‌طور گسترده به‌عنوان منابع جایگزین برای مقابله با محدودیت داده‌های مشاهداتی می‌باشند (Junior et al., 2021). جایگزینی داده‌ها با استفاده از تخمین‌های بارش مبتنی بر سنجش از دور یا مدل در بسیاری از مطالعات به‌ویژه پژوهش‌های مرتبط با آب‌وهوا مفید می‌باشد (Khaki et al., 2020; Li et al., 2015). اما تعیین کمیت و قطعیت محصولات مختلف بارش قبل از استفاده از آن‌ها در انواع مختلف ضروری است (Tapiador et al., 2012)، در واقع قبل از استفاده عملیاتی از محصولات بارشی باید به‌طور سیستماتیک این محصولات اعتبارسنجی شده و سپس با استفاده از مجموعه داده‌های مرجع قابل اعتماد به درستی تصحیح شوند (Serratt-Capdevila et al., 2014; Chen et al., 2020). تصحیح داده‌ها با توجه به نیاز و اهداف خاص و ارزیابی کمی تخمین‌های بارش مبتنی بر ماهواره به موضوع اصلی مطالعات تبدیل شده است (Levizzani et al., 2002; Zhao and Ma, 2019). امروزه با تقاضای روزافزون برای تخمین‌های بارش، چندین محصول بارش مبتنی بر محصولات ماهواره‌ای با انواع تفکیک‌های مکانی و زمانی ظهور کرده‌اند (Tang et al., 2020; Sun et al., 2018). برای مثال ثبت داده‌های آب‌وهوایی؛ نقشه‌برداری جهانی بارش ترکیبی مایکروویو؛ اندازه‌گیری‌های یکپارچه بارش جهانی؛ تحلیل مجدد جهانی مرکز پیش‌بینی میان‌برد اروپا و حسگرهای جدید ماهواره‌ای می‌باشند. این محصولات بارشی که بر پایه داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های پیشرفته تولید شده‌اند، به‌طور پیوسته در طول زمان دقت و کارایی بیشتری پیدا کرده‌اند (Thies and Bendix, 2011; Balsamo et al., 2018; Ali et al., 2016). در مطالعات متعددی از محصولات بارشی فوق استفاده شده است که می‌توان از آن جمله به پژوهش Nassaj et al. (۲۰۲۲) اشاره کرد. ایشان در مطالعه‌ای به بررسی دقت شش محصول بارش شبکه‌بندی شده با وضوح بالا ERA5، ERA-Interim، CMORPH، PERSIANN، PERSIANN-CDR و PERSIANN-CCS در ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی ایران در مقیاس‌های زمانی مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های ERA5، ERA-Interim و PERSIANN-CDR در مقیاس‌های سالانه و ماهانه بهترین عملکرد را دارند. Gorjizade et al. (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای دقت داده‌های بارش سه مجموعه ماهواره‌ای ERA5، TRMM و PERSIANN-CCS برای منطقه ایدنک در جنوب غربی ایران (شامل ایستگاه‌های دهنو، قلعه‌رئیسی، ایدنک و مارگون) در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های سالانه و ماهانه مدل‌های ERA5 و TRMM به‌ترتیب از نظر مقدار و توزیع مکانی بارش، تطابق بهتری با داده‌های مشاهده‌ای دارند. در مقیاس روزانه نیز مدل ERA5 جز در ایستگاه مارگون، بهترین عملکرد را از نظر RMSE و ضریب همبستگی ارائه داده است. همچنین، در تشخیص روزهای بارانی و غیر بارانی، مدل ERA5 در اکثر ایستگاه‌ها عملکرد بهتری داشت، اما مدل PERSIANN-CCS در ایستگاه قلعه رئیسی دقیق‌تر بوده است. Song et al. (۲۰۲۲) در پژوهشی به‌منظور یافتن محصولات شبکه‌ای قابل‌استفاده در آسیای مرکزی خشک به ارزیابی دقت پنج محصول بلندمدت بارش شبکه‌ای CRU، GPCC، MERRA-2، ERA5-Land و PREC/L و دو محصول کوتاه‌مدت PERSIANN-CDR و GPM در مقیاس‌های زمانی مختلف پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که محصول GPCC با دقت بیشتری رویدادهای شدید بارش و خشک‌سالی را ثبت کرده و GPM در مقایسه با PERSIANN-CDR عملکرد بهتری دارد. GPCC به‌طور کلی بهترین عملکرد را در میان محصولات بلندمدت و GPM در میان محصولات کوتاه‌مدت داشته است.

Awasthi et al. (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای عملکرد محصولات بارش چند ماهواره CHIRPS، NASA POWER، ERA-5 و PERSIANN-CDR را در مقایسه با داده‌های بارش شبکه‌ای سازمان هواشناسی هند طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان داد که PERSIANN-CDR در مرکز، شمال شرق و شمال غرب هند بهترین عملکرد را داشته است. همچنین، ERA-5 و PERSIANN-CDR به‌طور کلی بارش را در سراسر هند بیش از حد تخمین زدند. این مطالعه بر اهمیت کالیبراسیون منظم محصولات بارش با داده‌های ایستگاهی برای بهبود پیش‌بینی‌های آینده تأکید می‌کند. تحقیقات مختلفی بر روی مقایسه محصولات ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های زمینی صورت پذیرفته است اما تاکنون مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها با توجه به نواحی شهری در محصولات (GPM، ERA5، GSMaP و PERSIANN-CDR) با هم و برای رویدادهای خاص انجام نشده است. مطالعات گذشته بیشتر به ارزیابی و برآورد بارش سالانه و ماهانه حوضه‌های آبخیز پرداخته‌اند و در واقع انجام مطالعه به‌صورت تک

1. PERSIANN-CDR
2. GSMaP
3. GPM

4. ERA5
5. Root mean squared error
6. IMD

رویدادی-چند رویدادی، مقایسه آن‌ها با هم با توجه به نوع اقلیم انجام نگرفته است. از همه مهم‌تر با توجه به مسائل مختلف و محدودیت ایستگاه‌ها در نواحی شهری و همچنین عدم مقایسه و دقت محصولات ماهواره برای نواحی شهری ارزیابی عملکرد واقعی از بارش روزانه برای رویدادهای ضعیف و شدید در نظر گرفته نشده است. Song et al. (۲۰۲۴) در پژوهشی به منظور ارزیابی محصول بارش GPM در منطقه چونگ‌چینگ، از الگوریتم‌های LSTM، RF^۲ و XGBoost^۳ استفاده کردند. آن‌ها وضوح مکانی GPM را از ۱/۰ به ۰/۰۱ * ۰/۰۱ بهبود دادند. نتایج نشان داد الگوریتم LSTM بدون کاهش دقت، وضوح مکانی را افزایش داده و توزیع بارش را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. این پژوهش راهکاری موثر برای تولید داده‌های باکیفیت بارش در مناطق کوهستانی ارائه می‌دهد. Gan et al. (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای دقت بارش‌های تخمینی ساعتی^۴ از ماهواره‌های زمین ثابت^۵ و محصول مشترک IMERG-Early^۶ را در جنوب شرقی فلات تبت بررسی کردند. طبق نتایج، هر سه محصول الگوهای زمانی و مکانی بارش واقعی را بازتاب می‌کنند. FY-4A و FY-2H بارش را بیشتر و IMERG-Early آن را کمتر برآورد می‌کند، اما IMERG-Early دقت بهتری دارد. در بارش‌های سنگین، FY-4A و FY-2H دقت بهتری نسبت به IMERG-Early داشته، همچنین دقت محصولات با افزایش ارتفاع بیشتر می‌شود. منطقه شمال شرقی ایران به دلیل شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی آن سالانه در معرض خسارت شدید سیل و خشکسالی‌های شدیدی واقع می‌شود. این بلای طبیعی باعث تلفات جانی و همچنین خسارت سنگینی به بخش‌های مختلف شهری، روستایی، کشاورزی در سراسر منطقه می‌شود. به همین منظور باید از مدل‌های در دسترس و بروزترین ابزار شبیه‌سازی بارش استفاده نمود و آن‌ها را برای کاربردهای مختلف معرفی کرد. اجرای این روش‌ها می‌تواند به هشدارهای مختلف در نواحی شرقی ایران و یا نواحی مختلف کره زمین که مشابه این اقلیم هستند اطلاعات ارزشمندی درباره محصولات بارش‌های ماهواره‌ای ارائه دهد. همچنین با اجرا و شناسایی چنین محصولاتی محققان و مسئولان در حوزه‌های مختلف بهتر می‌توانند بارش‌ها را شبیه‌سازی نمایند.

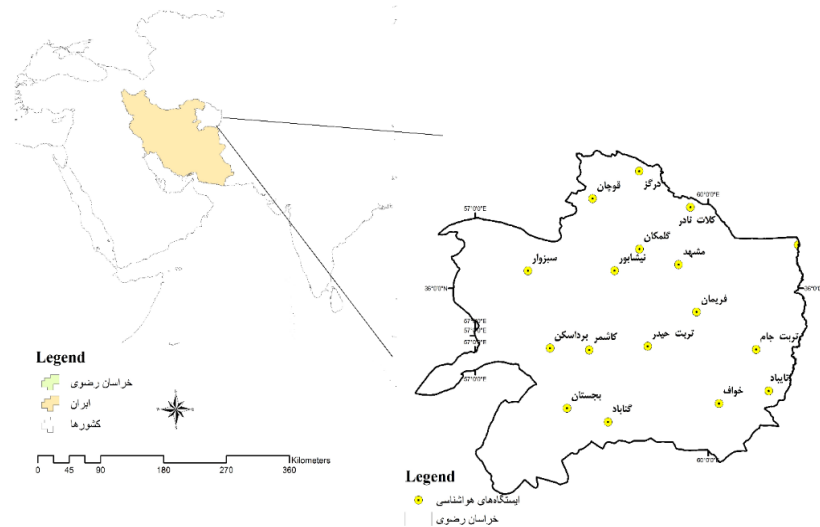
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی بین ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی قرار گرفته است. خراسان رضوی از شمال به کشور ترکمنستان، از شرق به افغانستان، از غرب و شمال غربی به استان‌های خراسان شمالی، سمنان و یزد و از جنوب و جنوب غربی به استان‌های خراسان جنوبی و یزد محدود است. استان خراسان رضوی بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن جزء اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک می‌باشد. خراسان رضوی به علت قرارگیری در مناطق خشک و نیمه‌خشک بارندگی ناچیز است، در این استان مقدار بارش‌ها یکنواختی خاصی ندارند و ریزش بارش باران و برف در قسمت‌های شمالی استان نسبتاً زیاده‌تر از بقیه قسمت‌های استان می‌باشد. متوسط سالانه بارندگی در این استان ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. مقدار بارندگی قسمت شمالی کشور سالانه تا ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر تغییر می‌کنند و سالانه تا ۷۰۰ میلی‌متر نیز می‌رسد، اما در قسمت‌های شرقی، جنوبی و مرکزی مقدار بارندگی‌ها ۱۵۰ میلی‌متر است. بارندگی استان خراسان رضوی حدود یک چهارم متوسط بارش‌های جهانی بوده و جز مناطق کم باران در سطح جهان محسوب می‌شوند. در بررسی مقدار میانگین بارش از زمان تأسیس ایستگاه‌های هم‌مدیدی تا سال ۱۴۰۲ بالاترین مقدار بارش در ایستگاه قوچان با ۳۰۹/۵ میلی‌متر و ایستگاه بردسکن و بجستان به ترتیب با ۱۲۰ و ۱۲۱/۶ میلی‌متر داری کمترین مقدار میانگین بارش بوده‌اند (سالنامه آماری استان خراسان رضوی، ۱۳۹۸). به منظور ارزیابی عملکرد و شبیه‌سازی بارش در نواحی مختلف استان خراسان رضوی ۱۷ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی مورد بررسی قرار گرفته است که موقعیت هر یک از این ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک در منطقه شمال شرق کشور هستند که به‌عنوان نماینده بارشی برای نواحی مختلف است به کار گرفته می‌شوند.

1. Long Short Term Memory
2. Random Forest
3. XGBoost for Regression
4. QPE

5. Fengyun FY-4A ,FY-2H
6. Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM Early



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

۲-۲- روش‌شناسی تحقیق

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی عملکرد محصولات ماهواره‌های مختلف در شبیه‌سازی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه، پنج محصول ماهواره‌ای بارش در پورتال گوگل ارث انجین^۱ به کار گرفته شده است. ارث انجین از یک کاتالوگ داده آماده تجزیه و تحلیل چند پتابایتی تشکیل شده است که در یک سرویس محاسباتی موازی با کارایی بالا قرار گرفته است. از طریق یک رابط برنامه‌نویسی کاربردی قابل دسترسی به اینترنت و یک محیط توسعه تعاملی مبتنی بر وب که نمونه‌سازی سریع و تجسم نتایج را امکان‌پذیر می‌کند، قابل دسترسی و کنترل است (Gorelick et al., 2017). این موتور پورتال وب تصاویر ماهواره‌ای جهانی و داده‌های برداری، محاسبات مبتنی بر بارش و دسترسی به نرم‌افزار و الگوریتم‌هایی برای پردازش چنین داده‌هایی را ارائه می‌دهد (Kumar and Mutanga, 2018). مخزن داده، مجموعه‌ای بیش از ۴۰ سال تصاویر ماهواره‌ای برای کل جهان بوده و دارای مجموعه‌ای قابل توجه از داده‌های سالانه، ماهانه، هفتگی، روزانه، ساعتی و دقیقه می‌باشد. داده‌های موجود شامل ماهواره مانند سری کامل لندست^۲، طیف‌سنج تصویربرداری با وضوح متوسط مودیس^۳، سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و جوی رادیومتر^۴ با وضوح بسیار بالا و ماهواره رصد زمین پیشرفته^۵ است (Gorelick et al., 2017). برای ارزیابی عملکرد محصولات ماهواره‌ای در شبیه‌سازی بارش از پنج محصول ماهواره بارشی که مشخصات آن‌ها در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است، استفاده گردید.

جدول (۱): مشخصات محصولات ماهواره‌های بارشی

محصولات	تفکیک (m)	دسترسی	توضیحات	وب‌سایت
PERSIANN-CDR	۲۷۸۳۰	روزانه	Estimated daily precipitation	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_PERSIANN-CDR#bands
GSMaP	۱۱۱۳۲	ساعتی	Snapshot of hourly precipitation rate	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/JAXA_GPM_L3_GSMaP_v6_operational#description
GPM	۱۱۱۳۲	۳۰ دقیقه	IR precipitation	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_GPM_L3_IMERG_V06#description
ERA5	۱۱۱۳۲	ساعتی	It is the sum of large-scale precipitation and convective precipitation.	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_LAND_HOURLY#image-properties

این محصولات ماهواره‌ای به دلیل تفکیک زمانی ساعتی و دقیقه‌ای، به روز بودن و مدت زمان ارائه داده‌ها در شبیه‌سازی بارندگی و همچنین به دلیل تفکیک فضایی بالا انتخاب شدند. پس از انتخاب محصولات بارشی با کد نویسی آن‌ها در محیط وب گوگل ارث انجین مقدار بارندگی برای چهار رویداد به شرح جدول (۳)، به عنوان نماینده بارش‌های متفاوت منطقه محاسبه گردید. در تحقیقات مختلف از دو و یا سه رویداد برای شبیه‌سازی بارش

1. Google Earth Engine (GEE)
2. IDE
3. Landsat
4. MODIS

5. NOAA AVHRR
6. ALOS
7. <https://code.earthengine.google.com>

به‌منظور بررسی و ارزیابی مدل‌های مختلف استفاده شده است (Martínez-Castro et al., 2019؛ Avolio and Federico, 2018). در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کارایی محصولات مختلف ماهواره‌ای، رویدادهایی انتخاب گردید که پوششی از تمام بارش‌های منطقه مورد مطالعه با توجه به فصول سال را داشته باشد. در نهایت به‌منظور ارزیابی عملکرد هر یک از محصولات ماهواره‌ای با استفاده از روش‌های راستی‌آزمایی (جدول ۴) دقت هر یک از این محصولات در مدل‌سازی بارندگی در منطقه مطالعاتی محاسبه گردید. مراحل تحقیق در شکل (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات باند محصولات ماهواره‌ای بارشی

محصول	باند	ImageCollection	مقدار		واحد	دسترسی داده‌ها
			حداقل	حداکثر		
PERSIANN-CDR	precipitation	NOAA/PERSIANN-CDR	0*	718.62*	mm	1983-01-01T00:00:00Z-NPT
GSMaP	hourlyPrecipRate	JAXA/GPM_L3/GSMaP/v6/operational	0*	204.88*	mm/hr	2014-03-01T00:00:00Z-NPT
GPM	IRprecipitation	NASA/GPM_L3/IMERG_V06	0*	79.5*	mm/hr	2000-06-01T00:00:00Z-NPT
ERA5	total_precipitation	ECMWF/ERA5_LAND/HOURLY	0	∞	mm	1981-01-01T01:00:00Z-NPT

NPT= Near Present Time with a delay of several days

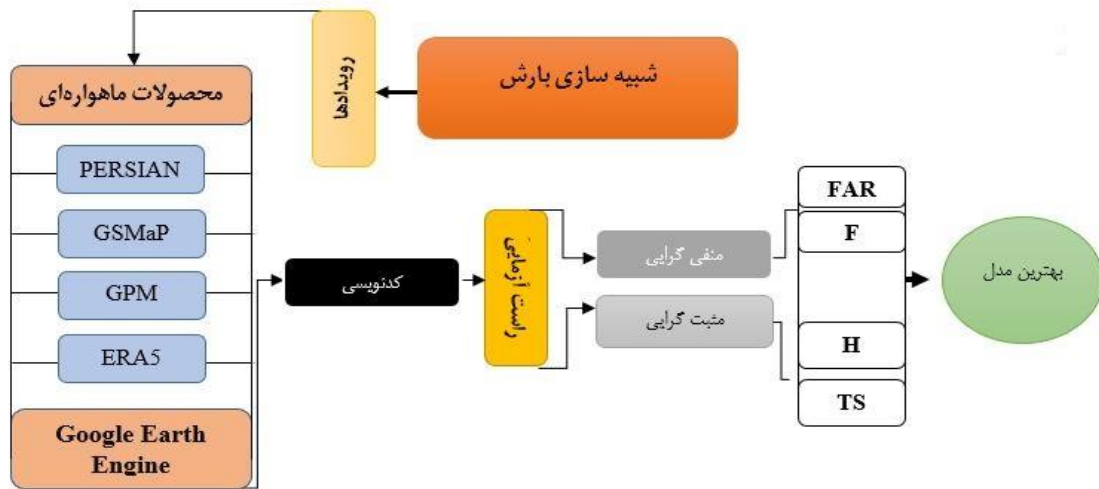
جدول (۳): مقدار بارش مشاهداتی برای رویدادهای مختلف

ایستگاه‌ها	رویدادها			
	۱۳۹۹/۱۱/۱۲	۱۳۹۹/۱۱/۱۹	۱۳۹۹/۱۲/۲۲	۱۴۰۰/۰۲/۱۲
درگز	۰	۰/۱	۱/۰۱	۱/۹
قوچان	۰	۳	۰/۰۱	۲/۵
کلات نادر	۰	۴	۰	۰/۲
سرخس	۰	۰	۰	۰/۵
مشهد	۰/۱	۰/۱	۰	۰
نیشابور	۰	۰/۳	۲/۸	۱/۶
سبزوار	۰	۱۰	۳/۵	۱۱
فریمان	۱	۰/۱	۰/۰۲	۰/۳
تربت جام	۱	۰/۲	۰	۰/۲
تربت حیدریه	۳	۱/۶	۰/۰۱	۰/۲
بردسکن	۵	۲	۱/۰۹	۷/۳
کاشمر	۸	۰	۱/۱	۶
تایباد	۰/۰۱	۰	۰	۰/۸
خواف	۱	۰	۰	۰
بجستان	۱	۰	۰	۴/۶
گناباد	۱	۰	۰	۹
گلمکان	۰	۰/۴	۰	۱۳/۴

جدول (۴): راستی آزمایی محصولات ماهواره‌ای برای شبیه‌سازی بارش

راستی آزمایی	فرمول	واحد	قابل قبول
امتیاز تهدید ^۱	$TS = \frac{a}{a + b + c}$	۰~۱	۱
نسبت هشدارهای نادرست ^۲	$FAR = \frac{b}{a + b}$	۰~۱	۰
آهنگ برخورد ^۳	$H = POD = \frac{a}{a + c}$	۰~۱۰۰	۱
آهنگ هشدارهای تقلبی ^۴	$F = \frac{b}{b + d}$	۰~۱۰۰	۰

a: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن پیش‌بینی شده باشد. b: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتاده ولی وقوع آن پیش‌بینی شده باشد. c: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده ولی وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد. d: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتاده ولی وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد.



شکل (۲). مراحل پژوهش

۳- نتایج

مقادیر بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط محصولات ماهواره‌ای برای هر رویداد بررسی شده است. به‌عنوان مثال، در رویداد ۱۳۹۹/۱۱/۱۲، برای ایستگاه درگز، مقدار بارش مشاهداتی برابر با صفر است، اما داده‌های ماهواره‌ای به ترتیب برای PERSIANN-CDR مقدار ۱/۲۶ میلی‌متر، برای GSMaP مقدار ۱/۷۹ میلی‌متر، برای GPM مقدار ۱/۶۵ میلی‌متر و برای ERA5 مقدار صفر میلی‌متر نشان داده‌اند. در ایستگاه قوچان نیز بارش مشاهداتی صفر میلی‌متر ثبت شده است، در حالی که بارش شبیه‌سازی شده توسط PERSIANN-CDR ۰/۸۲ میلی‌متر، توسط GSMaP ۱/۲۹ میلی‌متر، توسط GPM ۴/۱۱ میلی‌متر و توسط ERA5 صفر میلی‌متر است. بارش مشاهداتی ایستگاه مشهد ۰/۱ میلی‌متر بوده و داده‌های شبیه‌سازی شده به ترتیب برای PERSIANN-CDR مقدار ۱/۶۳ میلی‌متر، برای GSMaP مقدار ۱/۵۷ میلی‌متر، برای GPM مقدار ۶/۱۱ میلی‌متر، و برای ERA5 مقدار صفر میلی‌متر ثبت شده است. در تربت‌جام، مقدار بارش مشاهداتی برابر ۱ میلی‌متر است، اما داده‌های PERSIANN-CDR ۲/۳۵ میلی‌متر، GSMaP ۱/۴۳ میلی‌متر، GPM ۹/۸۹ میلی‌متر و ERA5 صفر میلی‌متر بارش را شبیه‌سازی کرده‌اند. یافته‌های رویداد ۱۳۹۹/۱۱/۱۹ نشان داد که ایستگاه درگز با بارش مشاهداتی ۰/۱ میلی‌متر، بهترین شبیه‌سازی را توسط GSMaP با مقدار ۰/۳۴ میلی‌متر دارد، در حالی که مقدار بارش برآوردی توسط GPM (۳/۲۳ میلی‌متر) فاصله قابل توجهی با مشاهدات دارد. ایستگاه قوچان با بارش مشاهداتی ۳ میلی‌متر، بهترین شبیه‌سازی را از PERSIANN-CDR با ۰/۷۲ میلی‌متر دریافت کرده است، اما GSMaP و GPM مقادیر بالاتری را گزارش کردند که نشان‌دهنده ناکارآمدی این مدل‌ها در این ایستگاه است. همچنین PERSIANN-CDR با ۲/۴۹ میلی‌متر و GSMaP با ۳۳/۳۸ میلی‌متر به ترتیب بهترین و بدترین شبیه‌سازی در ایستگاه سبزوار با بارش مشاهداتی ۱۰ میلی‌متر را ارائه نمودند. در ایستگاه نیشابور ERA5 با ۰/۰۲ میلی‌متر و در ایستگاه گلکان نیز ERA5 با ۰/۰۵ میلی‌متر بهترین شبیه‌سازی را دارا بوده است، در حالی که GPM با ۱۴/۵۱ میلی‌متر بیشترین فاصله را با داده‌های مشاهداتی ایستگاه گلکان

1. Threat Score (TS)

2. False Alarm Ratio (FAR)

3. Hit rate (H)

4. False alarm rate (F)

نشان می‌دهد. این تحلیل نشان می‌دهد که مدل‌های مختلف در ایستگاه‌های متفاوت عملکردهای متنوعی دارند و ERA5 و PERSIANN-CDR به‌عنوان مدل‌های معتبرتر در مقایسه با سایر مدل‌ها شناخته می‌شوند.

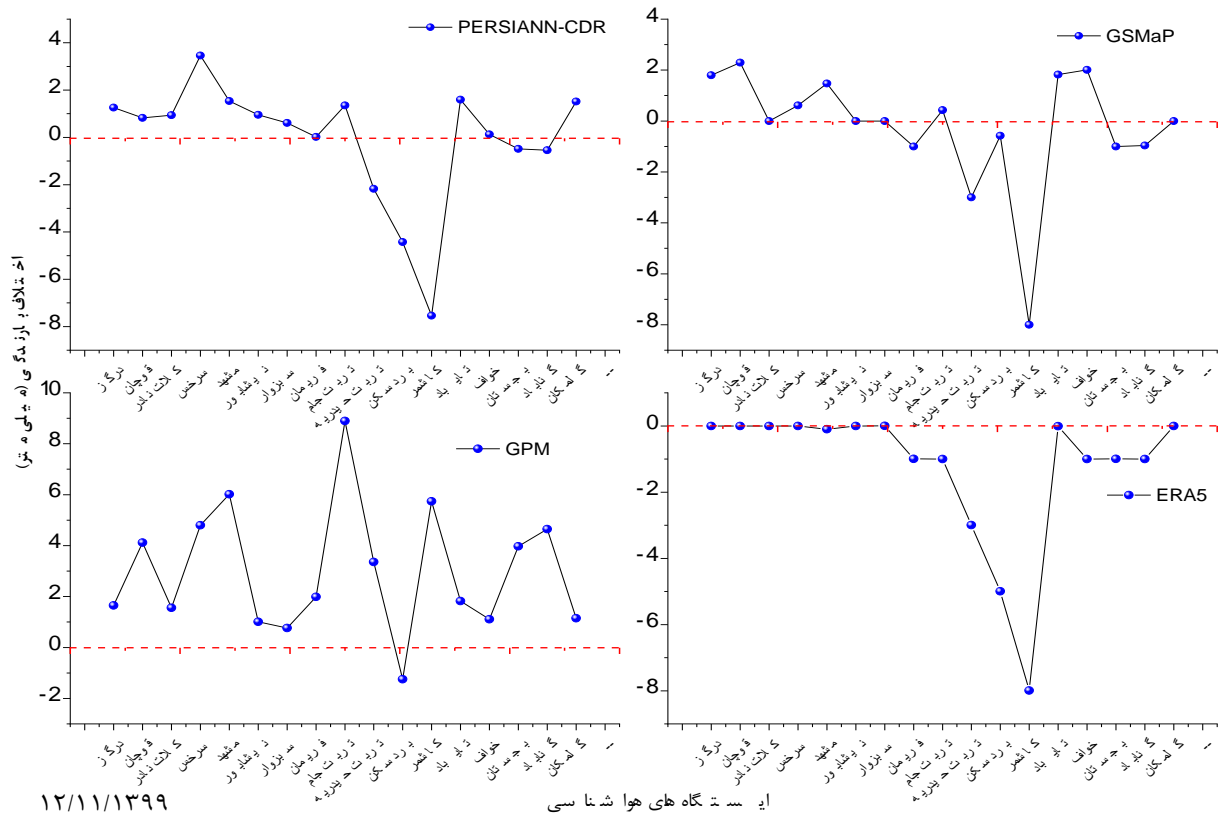
تجزیه و تحلیل داده‌های بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای رویداد ۱۳۹۹/۱۲/۲۲ از مدل‌های مختلف شامل GSMaP، PERSIANN-CDR، ERA5 و GPM در ایستگاه‌های مختلف نشان داد، مدل GSMaP در تخمین بارش (با بارش شبیه‌سازی شده ۱۷/۸۲ میلی‌متر) ایستگاه نیشابور با بارش مشاهداتی ۲/۸ میلی‌متر دقت بالایی نداشته است. در مقابل، PERSIANN-CDR با ۰/۷۹ میلی‌متر عملکرد بهتری نسبت به GSMaP و GPM در این ایستگاه دارد. ایستگاه قوچان نیز با بارش مشاهداتی ۰/۰۱ میلی‌متر، شبیه‌سازی‌های مختلفی را ارائه می‌دهد که در آن GSMaP با ۱۱/۱۵ میلی‌متر و GPM با ۴/۸۲ میلی‌متر، بارش‌هایی بسیار بیشتر از مشاهدات را تخمین زده‌اند. در ایستگاه سبزوار، بارش مشاهداتی ۳/۵ میلی‌متر است که با نتایج حاصل از PERSIANN-CD (۱/۹۵ میلی‌متر) و GPM (۱۴/۰۴ میلی‌متر) مقایسه گردیده و حاکی از فاصله زیاد مقادیر شبیه‌سازی شده توسط GPM با مقادیر مشاهداتی می‌باشد. در نهایت، ایستگاه گلکان با بارش مشاهداتی صفر میلی‌متر و شبیه‌سازی‌های مختلف، به‌ویژه GSMaP با ۲۸/۸۷ میلی‌متر، نشان‌دهنده‌ی ناکارآمدی این مدل در برآورد بارش‌های بسیار کم است. به‌طور کلی، مدل PERSIANN-CDR در بیشتر ایستگاه‌ها عملکرد بهتری نسبت به GSMaP و GPM در این رویداد داشته و می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب برای تخمین بارش در این مناطق در نظر گرفته شود. بررسی بارش‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در رویداد ۱۴۰۰/۰۲/۱۲ برای ایستگاه‌های مختلف نشان داد که در ایستگاه‌های گلکان و سبزوار با مقادیر بالای بارش مشاهداتی در رویداد مذکور (به ترتیب ۱۳ و ۱۱ میلی‌متر)، مدل‌های PERSIANN- و GPM با CDR با مقادیر شبیه‌سازی ۱۲/۹۹ و ۴/۷۰ میلی‌متری فاصله کمتری از داده‌های مشاهداتی دارند. در ایستگاه بردسکن با بارش مشاهداتی ۷/۳ میلی‌متر، مدل GSMaP با ۷/۹۰ میلی‌متر و PERSIANN-CDR با ۸/۱ میلی‌متر، شبیه‌سازی دقیقی از بارش را ارائه داده است، در حالی که ERA5 با ۲۱/۳۶ میلی‌متر نسبت به داده‌های مشاهداتی دقت کمتری دارند. مدل PERSIANN-CDR با ۲/۳۱ میلی‌متر و GSMaP با ۰/۵۵ میلی‌متر در ایستگاه درگز با بارش مشاهداتی ۱/۹ میلی‌متر دقت بهتری نسبت به GPM (۹/۰۳ میلی‌متر) نشان می‌دهند. در ایستگاه خوف با بارش مشاهداتی صفر میلی‌متر، مدل GSMaP با ۳/۴۰ میلی‌متر و ERA5 با ۱۱/۳۵ میلی‌متر، بارش‌هایی بسیار بیشتر از مشاهدات را تخمین زده‌اند، که حاکی از ناکارآمدی آنها در تخمین بارش‌های کم می‌باشد.

به‌منظور مقایسه بهتر مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی در نواحی شمال شرق ایران مقدار اختلاف هر یک از محصولات ماهواره‌ای با مقدار مشاهداتی به تفکیک هر رویداد در شکل (۳) تا (۶) آورده شده است. بررسی اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رویداد ۱۳۹۹/۱۱/۱۲ نشان داد، ایستگاه‌های درگز، قوچان و سرخس از بهترین شبیه‌سازی‌ها برخوردار بودند. بارش ایستگاه درگز با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل PERSIANN-CDR ۱/۲۶ اختلاف و با بارش حاصل از مدل GSMaP ۱/۷۹ اختلاف داشته، که نشان‌دهنده دقت بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش بود. همچنین، ایستگاه قوچان با اختلاف ۰/۸۲ در مدل PERSIANN-CDR و ۲/۲۹ در مدل GSMaP به نتایج قابل قبولی دست یافت. با این حال، مدل‌های GPM در ایستگاه سرخس با اختلاف ۴/۸ دقت کمتری را در شبیه‌سازی بارش نشان دارد، که نشان‌دهنده نیاز به بهبود دقت مدل‌های GPM برای پیش‌بینی بارش در این مناطق است. به‌طور کلی، این نتایج نشان‌دهنده قابلیت‌های خوب مدل PERSIANN-CDR و GSMaP در شرایط خاصی از جغرافیای منطقه هستند (شکل ۳).

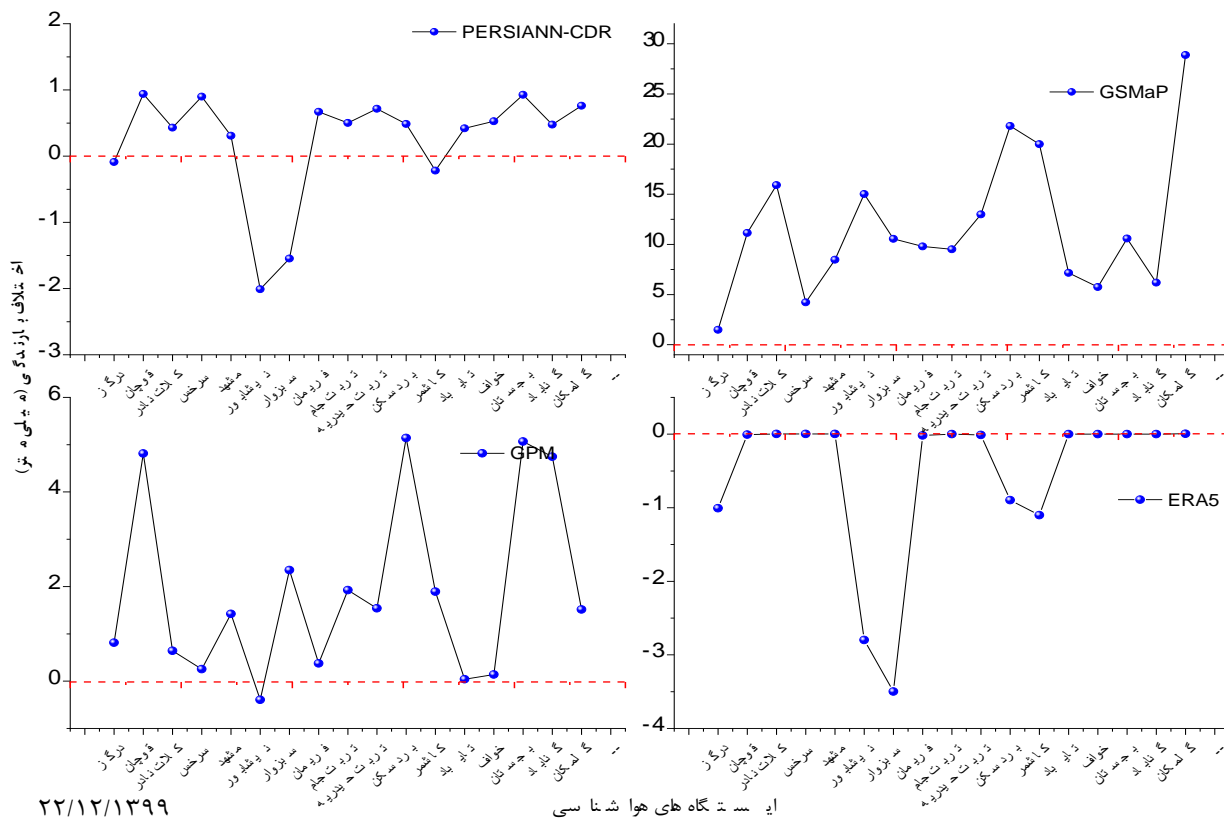
بررسی اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی بارش رویداد ۱۳۹۹/۱۱/۱۹ ایستگاه‌های سرخس، مشهد و تربت‌جام عملکرد مناسبی را در پیش‌بینی بارش نشان داد. در سرخس، مدل PERSIANN-CDR با اختلاف ۰/۳۹، در مشهد مدل PERSIANN-CDR با اختلاف ۰/۹۹ و در تربت‌جام، مدل GPM با اختلاف ۱/۵۰ بهترین نتایج را به دست آوردند، که نشان‌دهنده دقت بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش بود. با این حال، مدل‌های ضعیف‌تر شامل GSMaP در ایستگاه قوچان با اختلاف ۳/۵۶ و ERA5 در قوچان با اختلاف ۲/۹۶- بودند، که نشان‌دهنده مشکلات موجود مدل‌های فوق در شبیه‌سازی بارش ایستگاه‌های مذکور است. به‌طور کلی، عملکرد مثبت مدل‌های ERA5 و PERSIANN-CDR در این رویداد تأکید بر توانایی این مدل در پیش‌بینی بارش در شرایط خاص جغرافیایی دارد (شکل ۴).

نتایج اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی در رویداد ۱۳۹۹/۱۲/۲۲ حاکی از آن است که ایستگاه‌های درگز، تربت‌جام و کاشمر، کلات نادر و گناباد، در این تاریخ با نتایج مثبتی در شبیه‌سازی بارش مواجه شدند. در مدل PERSIANN-CDR با اختلاف ۰/۰۸، در تربت‌جام با اختلاف ۰/۵۰ و کلات نادر با اختلاف ۰-/۲۲ میلی‌متر بهترین عملکرد را نشان دادند. همچنین در ایستگاه‌های قوچان، کلات نادر، سرخس، مشهد، تربت‌جام، تایباد، خوف، بجستان، گناباد و گلکان در مدل ERA5 مقدار اختلاف مدل‌ها به کمتر از ۰/۵۰ میلی‌متر می‌رسد، که این نشان‌دهنده دقت این محصول در شبیه‌سازی بارش روزانه است. با این حال مقادیر شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های کاشمر با ۲۱/۱، بردسکن با ۲۱/۸۰، و کاشمر با ۲۰، کلات نادر ۱۵/۹۰ میلی‌متر توسط GSMaP نشان‌دهنده ضعف این مدل در پیش‌بینی بارش ایستگاه‌هاست (شکل ۵).

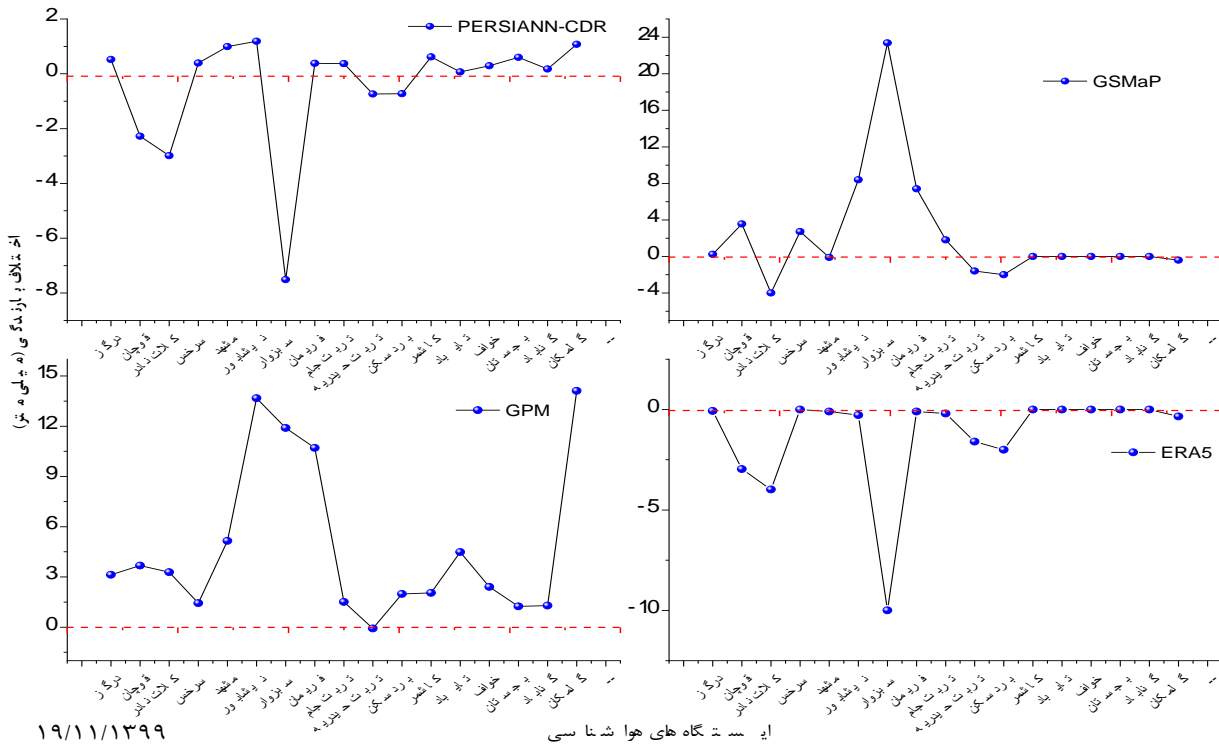
بررسی مقدار اختلاف شبیه‌سازی رویداد ۱۴۰۰/۰۲/۱۲ حاکی از آن است که در این روز، علاوه بر ایستگاه‌های تربت‌جام، خوف، گناباد، بجستان و تایباد در محصول ماهواره ERA5 که مقدار آن صفر است در ایستگاه‌های تربت‌جام، مشهد و نیشابور عملکرد بهتری در شبیه‌سازی بارش داشتند (شکل ۶).



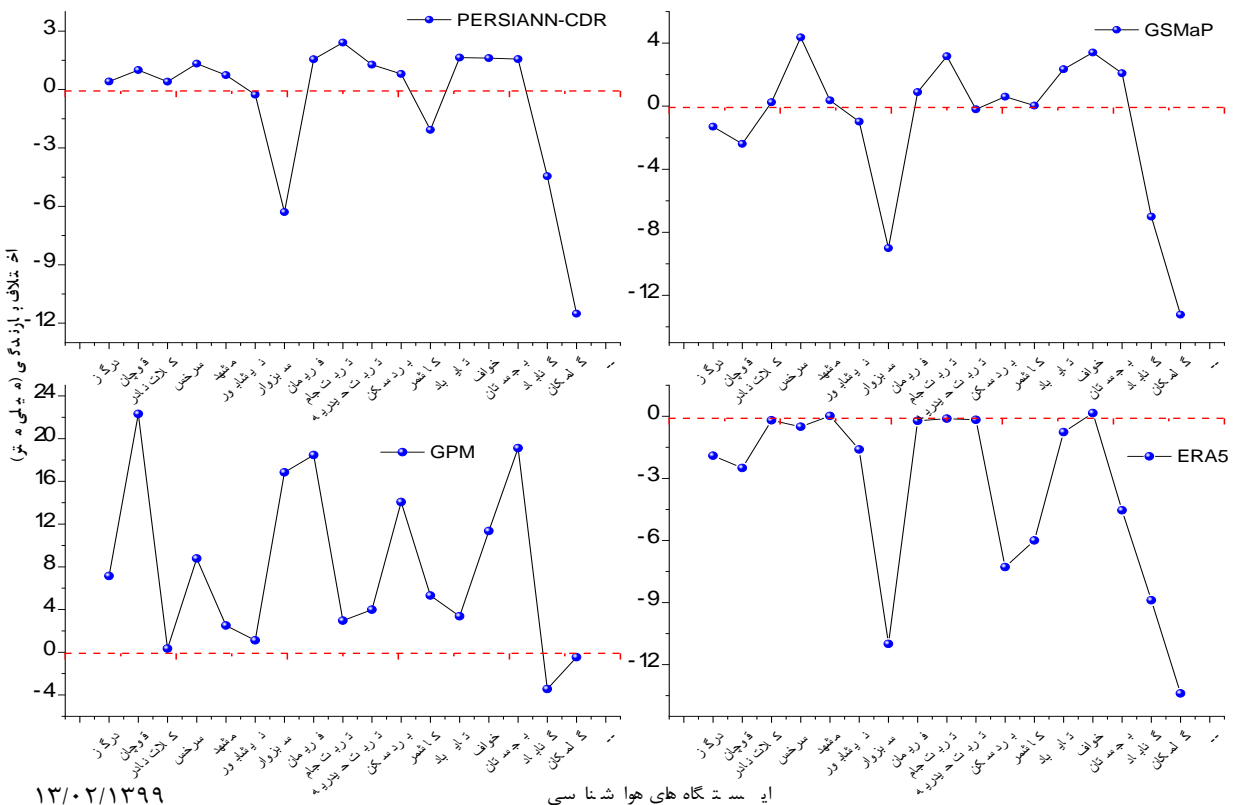
شکل (۳): مقدار اختلاف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش محصولات ماهواره‌ای برای رویدادها



شکل (۴): مقدار اختلاف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش محصولات ماهواره‌ای برای رویدادها



شکل (۵): مقدار اختلاف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش محصولات ماهواره‌ای برای رویدادها



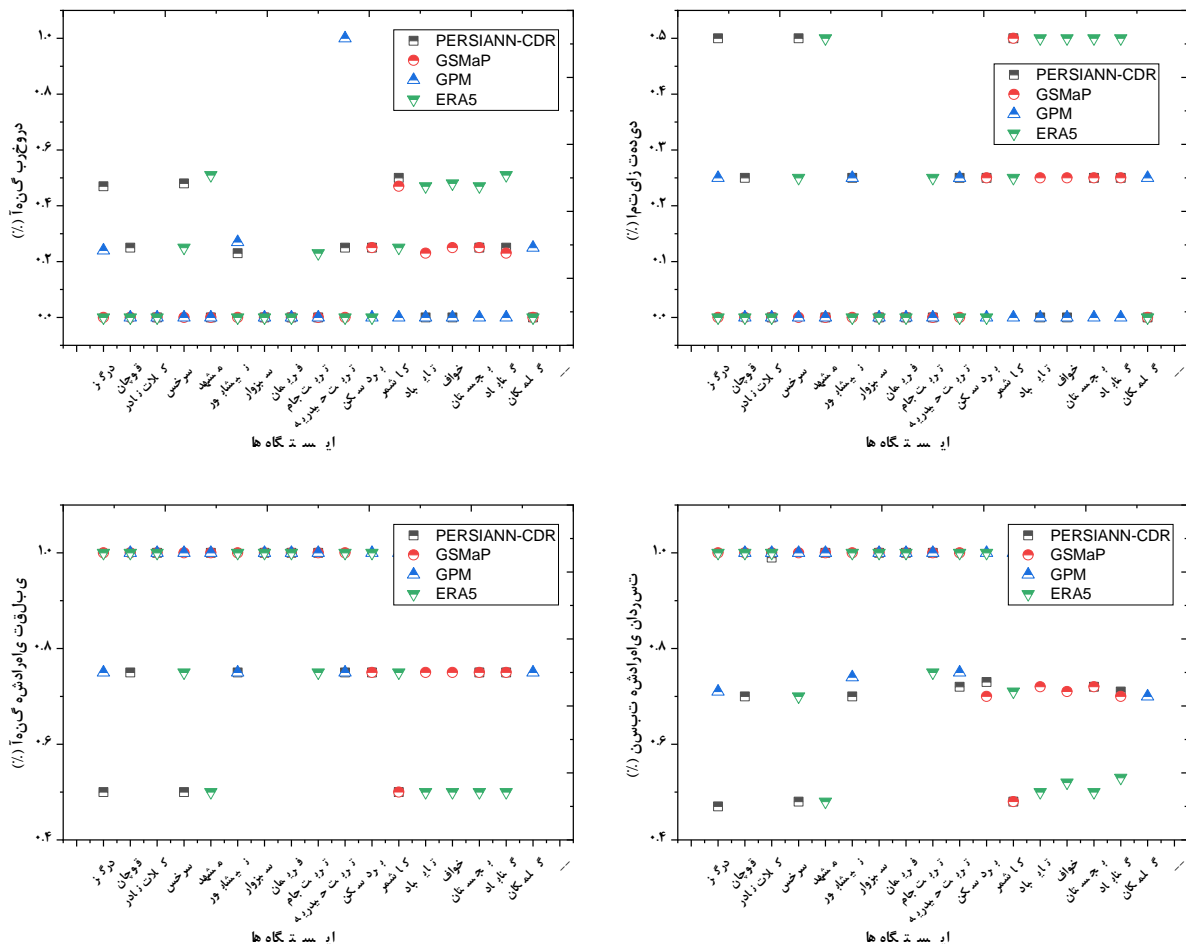
شکل (۶): مقدار اختلاف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش محصولات ماهواره‌ای برای رویدادها

در تربت‌جام با اختلاف بارش شبیه‌سازی ۳/۹۵ برای مدل GPM، مشهود با اختلاف ۰/۷۳ برای مدل PERSIANN-CDR و نیشابور با اختلاف ۰/۲۶- برای مدل PERSIANN-CDR بهترین نتایج را به دست آوردند، که نشان‌دهنده دقت بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی بارش بود. با این حال، مدل‌های با عملکرد ضعیف‌تر شامل مدل GPM با اختلاف ۰/۷۳ برای کاشمر و اختلاف‌های بسیار بالا (۱۱/۵۰- و ۱۳/۲۲-) در گل‌مکان برای مدل‌های

و ERA5 بودند، که نشان‌دهنده عدم توانایی این مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش در این ایستگاه‌هاست. بنابراین، نیاز به بررسی و بهبود مدل‌های ضعیف‌تر در مناطق خاص ضروری به نظر می‌رسد.

در تحلیل‌های قبلی به بررسی مقایسه بین مقدار بارش شبیه‌سازی محصولات بارشی ماهواره‌ای و مقدار مشاهداتی برای هر رویداد پرداخته شده و مقدار اختلاف آن‌ها به دست آمده است. به منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد کل این رویدادها باهم در شبیه‌سازی بارش نواحی شمال شرق ایران از معیارهای راستی آزمایی شامل دو دسته معیار راستی آزمایی مثبت‌گرایی و منفی‌گرایی استفاده شده است. معیارهای مثبت‌گرایی شامل امتیاز تهدید، آهنگ برخورد و معیارهای منفی‌گرایی شامل نسبت هشدارهای نادرست و نسبت هشدارهای تقلبی می‌باشند. هر چقدر مقدار کمیت‌های راستی آزمایی مثبت‌گرایی به ۱ نزدیک‌تر باشند نشان دهند دقت بالای محصولات بارشی در شبیه‌سازی بارش است. این حالت برای کمیت‌های منفی‌گرایی حالت عکس دارد، بدین منظور هر چه مقادیر به سمت ۱ نزدیک‌تر باشند نشان دهند ضعف محصولات ماهواره‌ای در شبیه‌سازی بارش است (شکل ۷). بررسی دقت محصولات ماهواره‌ای طبق راستی‌آزمایی آهنگ برخورد نشان داد که محصول ERA5 در ایستگاه‌های مشهد و گناباد با امتیاز ۵۱ درصد، و همچنین در خواف با امتیاز ۴۸ درصد، بهترین عملکرد را داشته است. همچنین محصول GPM در ایستگاه تربت‌حیدریه با امتیاز کامل ۱ بالاترین دقت را نشان داده است. در مقابل، در ایستگاه‌های سبزوار، فریمان و کلات نادر هیچ‌کدام از محصولات ماهواره‌ای عملکرد مناسبی نداشته‌اند و تمامی امتیازات صفر بوده، که نشان‌دهنده ضعیف‌ترین عملکرد در این مناطق است.

بر اساس کمیت منفی‌گرایی نسبت هشدارهای نادرست، محصول ERA5 در اکثر ایستگاه‌ها مانند درگز، قوچان، کلات نادر، نیشابور و سبزوار با امتیاز ۱ کمترین دقت را در شبیه‌سازی بارش نشان داده است.



شکل (۷): راستی‌آزمایی شبیه‌سازی محصولات بارشی در نواحی دشتی شمال شرق ایران

محصولات GSMaP و GPM در بسیاری از ایستگاه‌ها از جمله سبزوار، فریمان و گلکان نیز امتیاز ۱ را ثبت کرده‌اند. در مقابل، در برخی ایستگاه‌ها مانند مشهد و کاشمر، محصول ERA5 با امتیازهای ۴۸ و ۷۱ درصد به نسبت سایر محصولات عملکرد بهتری در شبیه‌سازی بارش داشته است.

بررسی کمیت راستی‌آزمایی آهنگ هشدارهای تقلبی حاکی از آن است که در محصول ماهواره‌ای PERSIANN-CDR و ERA5 دقت بهتری در شبیه‌سازی بارش برای ایستگاه‌های واقع در شمال شرقی دارند، به طوری که طبق این دو محصول به ترتیب ۹ و ۸ ایستگاه خطای کمتر از ۷۵ و ۵۰ درصد دارند. این در حالی است که ضعیف‌ترین محصول ماهواره‌ای شبیه‌سازی بارش نواحی شرقی ایران GPM می‌باشد، که مقدار خطای مدل‌ها فقط در ۴ ایستگاه درگز، نیشابور، تربیت حیدریه و گل‌مکان ۷۵ درصد بوده و برای دیگر ایستگاه این مقدار به ۱۰۰ می‌رسد (شکل ۷). بررسی دقت بهترین راستی‌آزمایی مثبت‌گرایی یعنی امتیاز تهدید محصولات ماهواره‌ای در شبیه‌سازی بارش در ایستگاه‌های مختلف حاکی از آن است که در برخی مناطق، یک محصول عملکرد بهتری داشته و در برخی دیگر چندین محصول با دقت مشابهی عمل کرده‌اند (شکل ۷). به عنوان مثال، در ایستگاه درگز، محصول PERSIANN با امتیاز ۵۰ درصد بالاترین عملکرد را داشته و در ایستگاه قوچان نیز همین محصول با امتیاز ۲۵ درصد بهترین دقت را نشان می‌دهد.

در سرخس، محصول PERSIANN با امتیاز ۵۰ درصد بالاترین دقت را داشته و محصول ERA5 نیز با امتیاز ۲۵ درصد در رتبه دوم قرار دارد، در ایستگاه نیشابور، هر دو محصول PERSIANN و GPM با امتیاز ۲۵ درصد دقت مشابهی داشته‌اند. در ایستگاه‌های سبزوار و فریمان هیچ‌کدام از محصولات دقت بالایی نشان ندادند و تمامی امتیازات صفر بوده است و در تربت‌جام، تنها محصول ERA5 با امتیاز ۲۵ درصد عملکرد مثبتی داشته است. در ایستگاه تربت‌حیدریه، محصولات PERSIANN و GPM هر دو با امتیاز ۲۵ درصد عملکرد یکسانی داشته‌اند و در بردسکن، محصولات PERSIANN و GSMaP با امتیاز ۲۵ درصد دقت مشابهی ارائه کرده‌اند. در ایستگاه کاشمر، هر دو محصول PERSIANN و GSMaP با امتیاز ۵۰ مشابه ۵۰ درصد بهترین عملکرد و ERA5 نیز با امتیاز ۲۵ درصد دقت قابل قبولی نشان داده است. در تایباد و خواف، محصول ERA5 با امتیاز ۵۰ درصد بالاترین دقت را نشان داده، در حالی که GSMaP نیز با امتیاز ۲۵ درصد عملکرد نسبی خوبی داشته است. در بجستان و گناباد، هر سه محصول PERSIANN، GSMaP و ERA5 با امتیاز ۲۵ درصد عملکرد مشابهی داشته‌اند.

در نهایت، در ایستگاه گل‌مکان، محصول GPM با امتیاز ۲۵ درصد دقت بهتری نسبت به سایر محصولات داشته است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که در اکثر مناطق، محصولات PERSIANN و ERA5 بالاترین دقت را داشته‌اند، اما در برخی ایستگاه‌ها مانند نیشابور و تربت حیدریه، دقت بین چندین محصول به طور مشابه تقسیم شده است. بهترین محصولات بارشی شناسایی شده برای منطقه مطالعاتی در جدول (۵) آورده شده است. در این جدول نشان می‌دهد که مدل PERSIANN-CDR در بیشترین تعداد ایستگاه‌ها، به ویژه در نواحی شمالی و مرکزی مانند تربت حیدریه، قوچان، و نیشابور، بهترین عملکرد را داشته است. مدل ERA5 نیز در مناطق جنوبی و مرزی مانند تایباد، خواف، و تربت جام دقت بالاتری نشان داده است. با این حال، در ایستگاه‌هایی مانند کلات نادر، سبزوار، و فریمان هیچ مدلی عملکرد قابل قبولی نداشته که نیازمند بررسی دقیق‌تر و آزمایش مدل‌های بیشتری می‌باشد. مدل GPM نیز تنها در ایستگاه گل‌مکان کارایی مطلوبی داشته و قابلیت آن در سایر مناطق محدود بوده است. این نتایج اهمیت انتخاب مدل مناسب بر اساس موقعیت جغرافیایی را نشان می‌دهد.

جدول (۵): شناسایی بهترین محصولات ماهواره‌ای برای ایستگاه‌های مختلف منطقه مطالعاتی

ردیف	ایستگاه‌ها	مدل	ردیف	ایستگاه‌ها	مدل
۱	درگز	PERSIANN-CDR	۱۰	تربت حیدریه	PERSIANN-CDR
۲	قوچان	PERSIANN-CDR	۱۱	بردسکن	PERSIANN-CDR
۳	کلات نادر	عدم مدل	۱۲	کاشمر	PERSIANN-CDR
۴	سرخس	PERSIANN-CDR	۱۳	تایباد	ERA5
۵	مشهد	ERA5	۱۴	خواف	ERA5
۶	نیشابور	PERSIANN-CDR	۱۵	بجستان	ERA5
۷	سبزوار	عدم مدل	۱۶	گناباد	ERA5
۸	فریمان	عدم مدل	۱۷	گل‌مکان	GPM
۹	تربت جام	ERA5			

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به منظور شبیه‌سازی بارش با قطعیت بالا جهت کاربرد در مدل‌های هیدرولوژیکی نواحی شهری از چهار محصول ماهواره‌ای PERSIANN-CDR، GSMaP، GPM و ERA5 استفاده شده است. که این مدل‌ها برای ۴ رویداد مختلف بارشی اجرا شده است. نتایج تحلیل مقایسه‌ای بارش‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در این مطالعه به وضوح نشان می‌دهد که محصول PERSIANN-CDR و ERA5 در شبیه‌سازی بارش‌های واقعی در نواحی شهری شمال شرق ایران عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارند. به ویژه در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۱۲، این محصولات

کمترین میزان اختلاف را با داده‌های مشاهداتی ثبت‌شده در ایستگاه‌های درگز و قوچان نشان داده‌اند. این نتایج با یافته‌های Gorjizadeh and Moridi (۲۰۰۴) که به مقایسه بارش ماهواره‌ای در مقیاس روزانه با استفاده از همین دو مدل پرداخته‌اند، همخوانی دارد. علاوه بر این، نتایج بیانگر توانمندی بالای محصول PERSIANN-CDR در شبیه‌سازی بارش در شرایط جوی خاص این مناطق است. این امر نشان‌دهنده قابلیت این مدل به‌عنوان یک ابزار موثر برای پیش‌بینی بارش‌های فصلی و میان‌مدت می‌باشد و آن را برای مطالعات اقلیمی و کاربردهای پیش‌بینی معتبر می‌سازد. این نتایج با نتایج خان محمدی و همکاران (۱۴۰۱) که برای دشت نیشابور به مقایسه بارش ماهواره PERSIANN به‌صورت ماهانه پرداخته‌اند از نظر دقت شبیه‌سازی همخوانی دارد. در مقایسه با آن، مدل‌های GPM و GSMaP در ایستگاه‌های سرخس و سبزوار، عملکرد ناپایداری را از خود نشان دادند. این نتایج با نتایج شیرمحمدی و همکاران (۱۳۹۸) که به مقایسه بارش‌های ماهواره‌ای با استفاده از GPM پرداخته‌اند همخوانی دارد. ناپایداری در نتایج به‌دست‌آمده از این مدل‌ها، ضرورت بهبود الگوریتم‌های پیش‌بینی بارش و بازنگری در روش‌های به‌کاررفته برای این مناطق را بیشتر نمایان می‌کند. به‌ویژه با توجه به تأثیر بارش‌ها بر مدیریت منابع آب، این نقص می‌تواند به چالش‌هایی در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با منابع آبی منجر شود. همچنین، مدل ERA5 در ایستگاه‌های گلکان و خواف، علیرغم پیشرفته بودن، کارایی لازم را در برآورد بارش‌های کم نداشته است. در مشهد، محصول ERA5 با امتیاز ۵۰ درصد، بهترین دقت را نشان داده است. این دقت نه‌تنها محدودیت‌های این مدل در شرایط اقلیمی خاص را برجسته می‌کند، بلکه بر اهمیت بهبود پیش‌بینی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأکید دارد. نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات (Najmi et al. ۲۰۲۳) در یک منطقه نیمه‌خشک در مراکش نیز همخوانی دارد. به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش بر اهمیت استفاده از رویکردهای چندمدلی در ارزیابی و پیش‌بینی بارش تأکید دارند. ترکیب نتایج مدل‌های مختلف می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش داده و خروجی‌هایی کاربردی‌تر برای تصمیم‌گیری‌های اقلیمی و مدیریتی ارائه دهد. نتایج این مدل‌ها را می‌توان با توجه به کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار دهند. اینکه از این مدل‌ها می‌تواند جایگزین داده‌های زمینی باشد یا خیر؟ بستگی به کاربردهای دارد که محققین و یا برنامه‌ریزان استفاده می‌کند، به‌عنوان مثال از این محصولات ماهواره‌ای می‌توان برای اعلام هشدار سیل و رویداد و عدم رویداد بارشی بکار گرفته شوند. اما برای کاربردهای که حساسیت بالایی دارند مانند استفاده از داده‌های عددی بارش برای ورودی به مدل‌های هیدرولوژیکی در بعضی از ایستگاه نمی‌توان استفاده شوند. چرا که استفاده از این مدل‌ها در مناطقی مانند سبزوار، فریمان و کلات نادر خطای بالایی در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی برای برآورد رواناب ایجاد می‌کنند. بکار بردن این محصولات بیشتر باید به‌عنوان مبنای علمی برای تدوین استراتژی‌های مؤثر در مدیریت منابع آبی و بهبود دقت پیش‌بینی‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، شناسایی نقاط قوت و ضعف هر مدل در شرایط جوی گوناگون، پژوهشگران و برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد تا با انتخاب مدل‌های مناسب‌تر برای هر منطقه، تصمیماتی هوشمندانه‌تر اتخاذ کرده و در نتیجه، مدیریت بهینه منابع آبی را محقق سازند.

منابع

- خان محمدی، ز.، محجوبی، ع.، قره چلو، س.، و بنی‌خدمت، ا. (۱۴۰۱). ارزیابی آماری محصولات بارش ماهواره‌ای به‌صورت ایستگاهی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه. مهندسی و مدیریت آب‌خیز، (۱۴)، ۵۱۲-۵۲۷.
- سالنامه آماری استان خراسان رضوی، (۱۳۹۸)، داده‌های مرکز آمار ایران.
- شیرمحمدی، ز.، سید فرهاد، ص.، و نصرآبادی، ح. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی داده‌های بارش ماهواره‌ای GPM و TRMM، در شمال شرق ایران. هواشناسی و علوم جوی، ۲، ۱۷۹-۱۹۱.
- Abdollahipour, A., Ahmadi, H., and Aminnejad, B. (2022). A review of downscaling methods of satellite-based precipitation estimates. *Earth Science Informatics*, 15(1), 1-20.
- Ali, I., Cawkwell, F., Dwyer, E., Barrett, B., and Green, S. (2016). Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. *Journal of Plant Ecology*, 9(6), 649-671.
- Avolio, E., and Federico, S. (2018). WRF simulations for a heavy rainfall event in southern Italy: Verification and sensitivity tests. *Atmospheric Research*, 209, 14-35.
- Awasthi, N., Tripathi, J. N., Petropoulos, G. P., Gupta, D. K., Singh, A. K., and Kathwas, A. K. (2023). Performance assessment of Global-EO-based precipitation products against gridded rainfall from the Indian Meteorological Department. *Remote Sensing*, 15(13), 3443.
- Balsamo, G., Agusti-Parareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Beljaars, A., Bidlot, J., and Brown, A. (2018). Satellite and in situ observations for advancing global Earth surface modelling: A review. *Remote Sensing*, 10(12), 2038.
- Boluwade, A. (2020). Spatial-temporal assessment of satellite-based rainfall estimates in different precipitation regimes in water-scarce and data-sparse regions. *Atmosphere*, 11(9), 901.
- Chen, J., Li, Z., Li, L., Wang, J., Qi, W., Xu, C. Y., and Kim, J. S. (2020). Evaluation of multi-satellite precipitation datasets and their error propagation in hydrological modeling in a monsoon-prone region. *Remote Sensing*, 12(21), 3550.
- de Brito, C. S., da Silva, R. M., Santos, C. A. G., Brasil Neto, R. M., and Coelho, V. H. R. (2022). Long-term basin-scale comparison of two high-resolution satellite-based remote sensing datasets for assessing rainfall and erosivity in a basin in the Brazilian semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(3), 1049-1064.
- Gan, Y., Li, Y., Wang, L., Zhao, L., Fan, L., Xu, H., and Yin, Z. (2024). Machine-learning downscaling of GPM satellite precipitation products in mountainous regions: A case study in Chongqing. *Atmospheric Research*, 311, 107698.

- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Gorjizade, A., Akhoond-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.
- Gorjizadeh, A., and Moridi, A. (2024). Comparative Analysis of the Performance of Gridded Precipitation Products Over Iran. *Water Harvesting Research*, 7(2), 175-193.
- Hinge, G., Mohamed, M. M., Long, D., and Hamouda, M. A. (2021). Meta-analysis in using satellite precipitation products for drought monitoring: Lessons learnt and way forward. *Remote Sensing*, 13(21), 4353.
- Junior, A. L. P., Biudes, M. S., Machado, N. G., Vourlitis, G. L., Geli, H. M., Santos, L. O. F. d., and Neto, N. L. (2021). Assessment of remote sensing and re-analysis estimates of regional precipitation over Mato Grosso, Brazil. *Water*, 13(3), 333.
- Khaki, M., Hendricks Franssen, H. J., and Han, S. C. (2020). Multi-mission satellite remote sensing data for improving land hydrological models via data assimilation. *Scientific reports*, 10(1), 18791.
- Kofidou, M., Stathopoulos, S., and Gemitzi, A. (2023). Review on spatial downscaling of satellite derived precipitation estimates. *Environmental Earth Sciences*, 82(18), 424.
- Kumar, L., and Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509.
- Levizzani, V., Amorati, R., and Meneguzzo, F. (2002). A review of satellite-based rainfall estimation methods. European Commission Project MUSIC Report (EVK1-CT-2000-00058), 66.
- Li, H., Zhang, Y., and Zhou, X. (2015). Predicting surface runoff from catchment to large region. *Advances in Meteorology*, 2015(1), 720967.
- Martínez Castro, D., Kumar, S., Flores Rojas, J. L., Moya-Álvarez, A., Valdivia-Prado, J. M., Villalobos-Puma, E., Castillo Velarde, C. D., and Silva Vidal, Y. (2019). The impact of microphysics parameterization in the simulation of two convective rainfall events over the central Andes of Peru using WRF-ARW. *Atmosphere*, 10(8), 442.
- Merino, A., García-Ortega, E., Navarro, A., Fernández-González, S., Tapiador, F. J., and Sánchez, J. L. (2021). Evaluation of gridded rain-gauge-based precipitation datasets: Impact of station density, spatial resolution, altitude gradient and climate. *International Journal of Climatology*, 41(5), 3027-3043.
- Morbideilli, R., García Marín, A. P., Al Mamun, A., Atiqur, R. M., Ayuso Muñoz, J. L., Taouti, M. B., Baranowski, P., Bellocchi, G., Sangüesa-Pool, C., Bennett, B., and Oyunmunkh, B. (2020). The history of rainfall data time-resolution in a wide variety of geographical areas. *Journal of Hydrology*, 590, 125258.
- Najmi, A., Igmoullan, B., Namous, M., El Bouazzaoui, I., Brahim, Y. A., El Khalki, E. M., and Saidi, M. E. M. (2023). Evaluation of PERSIANN-CCS-CDR, ERA5, and SM2RAIN-ASCAT rainfall products for rainfall and drought assessment in a semi-arid watershed, Morocco. *Journal of Water and Climate Change*, 14(5), 1569-1584.
- Nassaj, B. N., Zohrabi, N., Shahbazi, A. N., and Fathian, H. (2022). Evaluating the performance of eight global gridded precipitation datasets across Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 98, 101297.
- Serrat-Capdevila, A., Valdes, J. B., and Stakhiv, E. Z. (2014). Water management applications for satellite precipitation products: Synthesis and recommendations. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(2), 509-525.
- Song, L., Xu, C., Long, Y., Lei, X., Suo, N., and Cao, L. (2022). Performance of seven gridded precipitation products over arid central Asia and subregions. *Remote Sensing*, 14(23), 6039.
- Song, Y., Du, T., Zeng, B., Wu, Q., and Wang, G. (2024). Evaluation of fengyun geosynchronous orbit and GPM satellites precipitation products over the southeastern Tibetan plateau. *International Journal of Remote Sensing*, 45(16), 5616-5639.
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., and Hsu, K. L. (2018). A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79-107.
- 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 datasets. *Remote 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., and De Castro, M. (2012). Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*, 104, pp.70-97.
- Thies, B., and Bendix, J. (2011). Satellite based remote sensing of weather and climate: recent achievements and future perspectives. *Meteorological Applications*, 18(3), 262-295.
- Veetil, A. V. (2020). Multiscale hydrological drought analysis: Role of climate, catchment and morphological variables and associated thresholds. *Journal of Hydrology*, 582, 124533.
- Wanniarachchi, S., and Sarukkalgige, R. (2022). A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: Past, present, and future. *Hydrology*, 9(7), 123.
- Wu, J., Chen, X., Yuan, X., Yao, H., Zhao, Y., and AghaKouchak, A. (2021). The interactions between hydrological drought evolution and precipitation-streamflow relationship. *Journal of Hydrology*, 597, 126210.
- Xu, L., Abbaszadeh, P., Moradkhani, H., Chen, N., and Zhang, X. (2020). Continental drought monitoring using satellite soil moisture, data assimilation and an integrated drought index. *Remote Sensing of Environment*, 250, 112028.
- Zhao, H., and Ma, Y. (2019). Evaluating the drought-monitoring utility of four satellite-based quantitative precipitation estimation products at global scale. *Remote Sensing*, 11(17), 2010.

Evaluation of the performance of global satellite products in the simulation of precipitation in the urban areas of northeastern Iran

Mahdi Zarei^{1*}, Hadi Soltanifard², Rasoul Sarvestan³



Research Article

1. Associate Professor, Geography Research Department, Research Center of Social Studies and Geographical Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

m.zarei@hsu.ac.ir

* Corresponding author

2. Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

h.soltanifard@hsu.ac.ir

3. Postdoctoral Researcher, Geography Research Department, Research Center of Social Studies and Geographical Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

r.sarvestan@gmail.com

Article Code: 2410-1079

Continous Pagnation: 523-536

Received: 30 October 2024

Accepted: 28 December 2024

Online: 08 January 2025

Review speed: 60 days

Citation:

Zarei, M., Soltanifard, H., and sarvestan, R. (2023). Evaluation of the performance of global satellite products in the simulation of precipitation in the urban areas of northeastern Iran. *Management of Natural Ecosystems*, 3(3), 16-29.

Abstract

Selection the suitable model for precipitation simulation plays an important role in hydrological events. The present study aims in order to evaluate the accuracy of the simulated precipitation in the northeastern regions of Iran using four satellite products: PERSIANN-CDR, ERA5, GSMaP, and GPM, in Google Earth Engine. For this purpose, data from four precipitation events at 17 synoptic stations has been used. The performance of above products in estimating precipitation was evaluated using verification metrics such as TS, H, FAR, and F. Results indicate better performance of the PERSIANN-CDR and ERA5 products, and poor performance of the GPM product compared to other products. So that the, precipitation of PERSIANN-CDR showed an error of less than 0.75 at 9 stations, ERA5 precipitation at 8 stations an error of less than 0.50, and the precipitation from GPM an error of less than 0.75 in only 4 stations. Also, based on the results, in some stations, generally a product has a better performance than other products, and in some stations, several products have provided similar accuracy. For example, the best accuracy in simulating precipitation by PERSIANN was recorded at the Darghaz and Quchan stations with values of 0.50 and 0.25, respectively. On the other hand, none of the used products at the Sabzevar and Fariman stations did not have adequate accuracy in the simulation, got a score of zero. Also, two products, PERSIANN and ERA5, estimated the precipitation in stations such as Kashmer and Taybad with similar accuracy. Therefore, the PERSIANN-CDR and ERA5 products are more efficient tools for simulating in the arid and semi-arid regions of northeastern Iran. The obtained results emphasize the necessity of using multiple models to increase simulation accuracy and also improving precipitation forecasting algorithms improve precipitation forecasting algorithms. These results can be used as a scientific basis for planning and management of water resources in arid and semi-arid regions and developing strategies of climate and hydrological forecasting.

Key Words:

Precipitation, Simulation, Satellite Products, Northeastern Iran.