



ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای خانواده PERSIANN در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در ایران

محمد رامیار یوسف نژاد، منوچهر فرج زاده*، یوسف قویدل رحیمی

۱- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. ایمیل: m.yousefnejad@modares.ac.ir

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. ایمیل: farajzam@modares.ac.ir

۳- استادگروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

بارش مهمترین عامل در چرخه هیدرولوژی است که دارای تغییرات زیاد زمانی و مکانی است استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای می‌تواند کاربرد زیادی در تحقیقات اقلیمی و هیدرولوژیکی بویژه در مناطق فاقد آمار بارندگی داشته باشد. در طول سه دهه گذشته، تعداد زیادی از مجموعه داده‌های بارش جهانی برگرفته از ماهواره، توسعه و مورد استفاده قرار گرفته اند. هدف پژوهش حاضر بررسی میزان کارایی داده‌های بارش ماهواره‌ای مجموعه PERSIANN است که شامل چهار منبع PERSIANN-CCS، PERSIANN-CDR، PERSIANN و PDIR - PERSIANN می‌باشد. بدین منظور داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه این محصولات در سطح ایران و در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۲۲ با داده‌های مشاهداتی ۱۲۹ ایستگاه هواشناسی مورد مقایسه قرار گرفت. اعتبار سنجی میزان دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای با استفاده از شاخص‌های آماری CC و RMSE و شاخص‌های طبقه‌بندی POD، FAR، CSI، HSS و KSS انجام گرفت. نتایج ارزیابی در مقیاس روزانه حاکی از کارایی بهتر منبع PERSIANN-PDIR با همبستگی و RMSE به ترتیب ۰/۳۰ و ۳/۴ میلی‌متر و عملکرد بهتر در شاخص‌های POD، CSI و KSS است. در مقیاس‌های ماهانه و سالانه PERSIANN-CDR با مقدار همبستگی ۰/۸۱، ۰/۷۸ و RMSE ۲۳/۴ و ۱۵۲/۷ میلی‌متر بهترین برآورد را در بارش ماهانه و سالانه دارد. منبع PERSIANN دارای کم‌برآوردی بارش سالانه و منبع بارشی PERSIANN-CCS نیز دارای بیش‌برآوردی بارش است. با این وجود در نواحی پربارش واقع در نوار شمالی و رشته‌کوه زاگرس، هر چهار منبع خانواده PERSIANN بارش سالانه را کمتر از مقدار واقعی گزارش کردند. به‌علاوه هر چهار منبع بارشی در مقیاس ماهانه عملکردی بهتر نسبت به مقیاس روزانه و سالانه دارند.

کلمات کلیدی: بارش، ایران، خانواده PERSIANN، شاخص‌های آماری، شاخص‌های طبقه‌بندی

۱- مقدمه

عنصر بارش یکی از عناصر پیچیده و حیاتی اتمسفر زمین است و تغییرات زمانی و مکانی آن می‌تواند ویژگی‌های محیطی هر ناحیه جغرافیایی را کنترل کند بارش متغیر کلیدی ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی و نقش مهمی در برنامه‌ریزی منابع آب از جمله سیل و تجزیه و تحلیل، پایش و پیش‌بینی خشکسالی دارد (Abbasian et al., 2021). Zhang and Najafi, 2003).
 (al., 2021) اختلاف زمانی و مکانی از ویژگی‌های عمده بارش ایران است بارش سالانه در سطح کشور هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی اختلاف فاحشی را نشان می‌دهد. در حالی که میزان بارش در سواحل خزر، زاگرس و البرز به ترتیب حدود ۱۵۶۰، ۹۳۰ و ۵۳۰ میلی‌متر می‌باشد در مناطق مرکزی به ۶۳ میلی‌متر می‌رسد که علاوه بر توزیع ناهمگن مکانی، نوسانات شدید زمانی نیز در آن به چشم می‌خورد (فرج‌زاده و بابایی فینی ۱۳۸۱). اطلاعات قابل اتکا در مورد مقدار، توزیع مکانی و تغییرات زمانی بارش برای مدل‌سازی فرآیندهای مختلف زیست‌محیطی و توسعه سیاست‌های مدیریت منابع مرتبط با آب و مخاطرات ضروری است (Islam et al., 2020). برای سنجش بارش از سه روش بسیار رایج باران‌سنج، رادار، و ماهواره‌های هواشناسی استفاده می‌شود (Li et al., 2015). باران‌سنج‌ها منبع اصلی داده‌های بارندگی هستند که از طریق اندازه‌گیری مستقیم به دست می‌آیند ولی چون تغییرپذیری مکانی بارش زیاد است، بارشی را که در یک نقطه اندازه‌گیری شده است را نمی‌توان به مساحت اطرافش نسبت داد و هر چه مساحت بزرگتر باشد خطای برآورد بیشتر می‌شود (Sorooshian et al., 2011). به عنوان مثال در فاصله ۱۰۰ متری در یک بارندگی همرفتی کوچک مقیاس، شاهد تغییراتی تا حدود ۱۴ درصد در مقدار بارش هستیم (Goodrich et al., 1995). در ضمن به دلیل توپوگرافی، صعب‌العبور و غیرقابل سکونت بودن بعضی مناطق توزیع مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی عملاً وجود ندارد به طوری که ایستگاه‌های باران‌سنجی ایران اغلب در دامنه‌های کم‌ارتفاع زاگرس و البرز و بعضی از مناطق ساحلی قرار دارند و تعداد ایستگاه‌ها در قسمت مرکز، شرق و جنوب شرق کشور به دلیل بیابانی بودن بسیار کم است (چاوشیان و کتیرایی بروجردی، ۱۳۹۸).
 دومین منبع اندازه‌گیری داده‌های بارش رادارهای هواشناسی هستند. رادارهای هواشناسی می‌توانند شدت بارش را با تفکیک مکانی و زمانی بالا اندازه‌گیری نمایند. اما بارندگی برآورده شده با رادارهای هواشناسی با مشکل کیفیت داده‌ها مواجه است و این داده‌ها به منظور حذف خطاهایی مانند کلاتر زمین، پخش نامتعارف سیگنال‌ها و مسدود شدن پرتوها می‌بایست اصلاح شوند (Lombardo et al., 2006). به علاوه نیازمندی به تأسیسات گران قیمت، داشتن خطاهای معنی‌دار، ناهمگنی داده‌های جمع‌آوری شده و خطای بازتاب‌پذیری به نرخ بارندگی و محدودیت پوشش مکانی را هم به این محدودیت‌ها اضافه نمود (Zhang et al., 2014). استفاده از فناوری ماهواره‌ها از دهه ۱۹۷۰ به عنوان مکمل دیدبانی‌های زمینی توسعه یافت و پتانسیل جدیدی برای برآورد بهتر و دقیق‌تر پارامترهای مورد نظر در مناطقی که اندازه‌گیری و دیدبانی‌های زمینی محدود هستند، ایجاد شد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۵).
 داده‌های بارندگی به‌دست‌آمده از سنجش از دور دارای مزیت پوشش گسترده فضایی و زمانی هستند و پتانسیل بالایی برای استفاده در بسیاری از کاربردها نشان داده‌اند (Dinku et al., 2007; Li et al., 2015). در طول سه دهه گذشته، تعداد

زیادی از مجموعه داده‌های بارش جهانی برگرفته از ماهواره همچون^۱، CMORPH^۲، TMPA^۳، PERSIANN^۴، GSMaP^۵، CHIRPS^۶، SM2RAIN^۷ و IMERG^۸ توسعه و مورد استفاده قرار گرفته‌اند این مجموعه داده‌ها از ۰/۰۴ تا ۲/۵ درجه از نظر وضوح مکانی، از ۳۰ دقیقه تا ماهانه از نظر تفکیک زمانی و تا ۴۰ سال بازه زمانی متفاوت است. این مجموعه داده‌ها برای کاربردهای مختلف طراحی شده‌اند و قابلیت استفاده از آن‌ها به نوع کاربرد همراه با دقت، تأخیر و وضوح زمانی و مکانی تخمین‌ها بستگی دارد (Sadeghi, 2021). مجموعه بارشی PERSIANN (برآورد بارش از سنجش از دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی) نتیجه همکاری بین ناسا، NOAA و یونسکو برای اجرای یک پروژه مشترک جهت ایجاد برنامه شبکه جهانی آب و اطلاعات توسعه برای سرزمین‌های خشک (G-WADI) است که در دو دهه اخیر در مرکز آب و هواشناسی و سنجش از دور (CHRS) در دانشگاه کالیفرنیا، ایروین، توسعه یافته است (Nguyen et al., 201). داده‌های PERSIANN به طور مکرر برای مطالعات مختلف توسط محققان در زمینه‌های هیدرولوژی، مدیریت منابع آب و اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است در مطالعه‌ای عینی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی عملکرد خانواده PERSIANN در لهستان پرداختند و بیان داشتند که با توجه به شاخص‌های FAR، POD و CSI محصولات این خانواده قادر به تشخیص رویدادهای بارش هستند و در این بین محصول PERSIANN-CDR در بخش شمالی و مرکزی همبستگی بهتری دارد و در حوضه مرتفع جنوب شرقی لهستان دقت پایینی را نشان می‌دهد. در تایلند گاناتیلیک^۹ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی گزارش کردند که PERSIANN-CDR و TMPA-3B42-RT دارای بیش‌برآوردی بارش بین ۰/۰۵ تا ۰/۵۴ هستند در مقابل PERSIANN و PERSIANN-CCS بارش را به مقدار ۰/۰۶ تا ۰/۳۹ کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. در پژوهشی دیگر موسوی دهقانی و همکاران (۲۰۲۲) داده‌های سه منبع بارشی CMORPH، TRMM^{۱۱} و PERSIANN-CCS را با داده‌های ۵۲ ایستگاه سینوپتیک در ایران مورد مقایسه قرار داده و نتیجه گرفتند که CMORPH و TRMM بارش را به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۵۶ کمتر و منبع PERSIANN-CCS به مقدار ۱۴۳ درصد بیشتر از داده‌های مشاهداتی تخمین می‌زنند به علاوه نامبردگان اظهار کردند که PERSIANN-CCS در کشف روزهای

^۱- Climate Prediction Center(CPC) morphing technique

^۲- TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis

^۳- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

^۴- Global Satellite Mapping of Precipitation

^۵- Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations

^۶- Soil Moisture to Rain

^۷- Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM

^۸- Global Network on Water and Development Information for Arid Lands

^۹- Center for Hydrometeorology and Remote Sensing

^{۱۰}- Gunathilake

^{۱۱}- Tropical Rainfall Measurement Mission

بارش و عدم بارش بهتر از دو منبع بارشی دیگر عمل می‌کند. مقایسه محصولات خانواده PERSIANN در مقیاس‌های زمانی مختلف در مطالعه دیگری (هانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱) در تایوان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از این است که به طور کلی، همه محصولات بارشی خانواده PERSIANN تمایل به دست کم گرفتن بارش در بیشتر مناطق تایوان دارند. با این حال دو محصول نسبتاً جدید PERSIANN-PDIR و PERSIANN-CCS-CDR عملکرد RMSE بهتری نسبت به سایر منابع در مقیاس‌های زمانی مختلف دارند. نگوین^۲ و همکاران (۲۰۱۸) در ایالات متحده سه محصول خانواده PERSIANN را در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۳ مورد مطالعه و مقایسه قرار داد که نتایج این تحقیق حاکی از این است که در شاخص‌های POD، RMSE و CORR به ترتیب با مقدار ۰/۹۰، ۵/۱۹ و ۰/۵۵ منبع بارشی PERSIANN-CDR بهترین عملکرد را نشان می‌دهد و PERSIANN در شاخص‌های FAR و Bias با ۰/۲۲ و ۰/۱۰ نتایج بهتری کسب کرد. کتیرایی بروجرودی و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای بروی ایران اقدام به مقایسه دقت داده‌های PERSIANN در مقابل بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی نموده و بیان کرد که PERSIANN بارش سالانه را در مناطق مختلف ایران به ویژه منطقه زاگرس کم برآورد می‌کند. معینی و همکاران (۱۴۰۰) نیز در پژوهش خود بیان داشتند که PERSIANN-CDR با ضریب همبستگی ۰/۴۸ و خطای نسبی ۵۴/۵۵ درصد مقدار بارندگی بالا دست زاینده رود را رو به بالا برآورد می‌کند. علیجانیان و همکاران (۲۰۱۷) چند مجموعه بارشی شامل CMORPH، PERSIANN-CDR، TRMM، PERSIANN و MSWEP بروی ایران بررسی کردند و نتایج آن‌ها حاکی از آن است که MSWEP، TRMM و PERSIANN-CDR با ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۷۲، ۰/۴۶ و ۰/۴۳ بهترین عملکرد را در مقیاس روزانه دارند. علاوه بر این PERSIANN-CDR در شناسایی رویداد بارش‌های سنگین دقت بالاتری دارد. در مقایسه‌ای که بین PERSIANN و PERSIANN-CDR در مقیاس ماهانه و سالانه در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷) محصول PERSIANN-CDR از دقت بهتری برخوردار بود به علاوه عملکرد هر دو مجموعه در برآورد بارش در مقیاس ماهانه بهتر از مقیاس سالانه بود. عزیزیان و امینی (۱۳۹۹) در تحقیق خود با هدف ارزیابی کارایی محصولات بارشی خانواده PERSIANN در مقیاس ماهانه در سطح کشور ایران بیان داشتند که منبع بارشی PERSIANN-CDR با متوسط شاخص CC معادل ۰/۷۶ در سطح کشور، نسبت به دو منبع بارشی PERSIANN و PERSIANN-CCS از همبستگی بسیار بالایی با داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک برخوردار می‌باشد. موارد فوق مروری بر پژوهش‌های بود که در آن محصولات خانواده PERSIANN بخشی از پژوهش مربوطه بود به نظر می‌رسد که تاکنون کارایی و میزان دقت چهار محصول بارشی این خانواده به صورت همزمان در ایران مورد مطالعه قرار نگرفته است بنابراین آنچه هدف این تحقیق است تمرکز بر میزان دقت برآورد بارش چهار محصول خانواده PERSIANN در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه در سطح کشور ایران است.

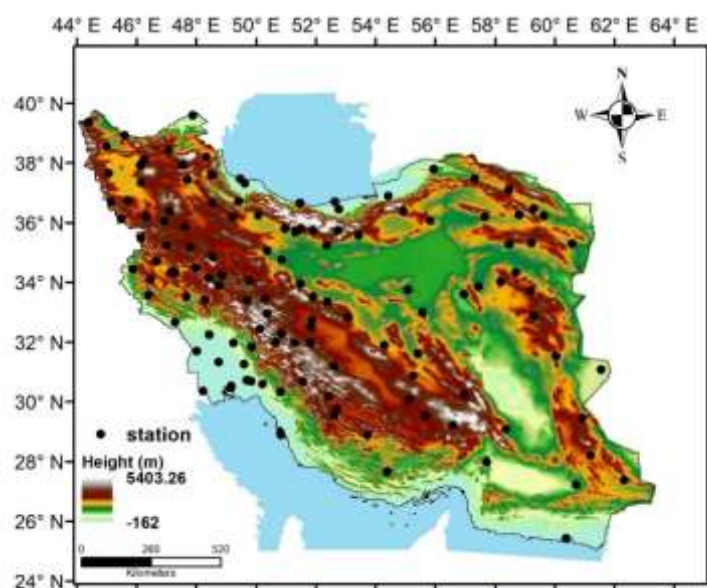
^۱- Huang

^۲- Nguyen

۲- روش پژوهش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کشور ایران بین ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی قرار دارد ارتفاع آن بین ۲۷ متر از سطح دریا در مناطق شمالی و ۷۶۷۷ متر از سطح دریا در کوه‌های البرز متغیر است مساحت تقریبی کشور ایران در حدود ۱۶۹۲۱۱۱ کیلومترمربع بوده و از لحاظ توپوگرافی بسیار متغیر است بطوری که شامل دو رشته کوه مرتفع و دو کویر بزرگ است همین مسأله موجب شده است که مناطق مختلف ایران دارای اقلیم‌های متفاوتی باشند. تفاوت توپوگرافیکی و اقلیمی بخش‌های مختلف ایران موجب تغییر الگو و میزان بارش در سطح آن شده است (Rahimi et al., 2013).



شکل (۱): توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک و تغییرات ارتفاعی بروی ایران

Fig. (1): Spatial distribution of synoptic stations and elevation changes in Iran

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های بارش روزانه، ماهانه و سالانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی و چهار محصول خانواده PERSIANN می‌باشد.

۲-۲-۱- داده‌های هواشناسی

در این تحقیق از داده‌های بارش روزانه ۱۲۹ ایستگاه سینوپتیک و فرودگاهی سازمان هواشناسی کشور با طول دوره آماری ۱۵ ساله و از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۲ میلادی استفاده شده است که با مراجعه به سامانه درخواست آمار سازمان هواشناسی به آدرس <https://data.irimo.ir> داده‌های مورد نظر دریافت گردید.

۲-۲-۲- مجموعه بارشی PERSIANN

PERSIANN- یکی از الگوریتم‌ها و محصولات بارشی معروف، تخمین بارش از اطلاعات سنجش از راه دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (PERSIANN) است (Hsu et al., 1997) که داده‌های دمای بالای ابر به دست‌آمده از تصاویر مادون قرمز ماهواره‌های زمین‌آهنگ مانند GOES-8، GOES-10، GMS-5، Metsat-6، و Metsat-7 را به نرخ بارندگی تبدیل می‌کند (Sorooshian et al., 2000). در ادامه شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های مایکروو غیرفعال سنجنده‌های SSM/I، TMI و AMSU واسنجی و مقدار بارش سطحی با دقت مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه، هر نیم ساعت تخمین زده می‌شود. در حالت به روز رسانی، PERSIANN به طور تطبیقی پارامترهای شبکه را با استفاده از تخمین بارندگی لحظه‌ای سنجنده TMI ماهواره TRMM تنظیم می‌کند تا دقت برآورد بارندگی را بهبود بخشد (Rauniyar et al., 2017).

^۱ PERSIANN-CCS- این منبع بارشی که در سال ۲۰۰۳ منتشر شد نسل بهبود یافته PERSIANN می‌باشد و اطلاعات بیشتری از تصاویر مادون قرمز ابر استخراج می‌کند (Hong et al., 2004). در این الگوریتم، ابتدا تصاویر مادون قرمز ابر را براساس آستانه‌های دمایی مختلف از هم جدا کرده، سپس نوع ابر براساس ویژگی‌هایی همچون بافت، هندسه و دمای تصویر ابر جدا شده، مشخص می‌شود. در مرحله سوم، براساس ویژگی‌های استخراج‌شده، ابرها را به گروه‌های جداگانه تقسیم و در نهایت، برای هر گروه یک رابطه بین دمای روشنایی و نرخ بارندگی، با استفاده از تطبیق هیستوگرام و برازش تابع نمایی غیرخطی ایجاد می‌شود. PERSIANN-CCS از سال ۲۰۱۴ با داده‌های PMW کالیبره و ارتقاء داده شدند (Karbalae et al., 2017).

^۱- PERSIANN-Cloud Classification System

^۱ PERSIANN-CDR - این مجموعه بارشی از الگوریتم PERSIANN با استفاده از داده‌های مادون قرمز GridSat-BI به‌عنوان داده ورودی اصلی ماهواره بهره می‌گیرد با این حال، بر خلاف الگوریتم PERSIANN، که در آن از تصاویر مایکروویو غیرفعال برای بروز رسانی پارامترهای شبکه استفاده می‌شود، PERSIANN-CDR به طور متناوب از بارش ساعتی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) برای آموزش مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌کند و در نهایت برای بهبود قابلیت اطمینان با استفاده از محصول ماهانه GPCP^۳ نسخه ۲/۲ کالیبره شده است تا نیاز به مجموعه داده‌های بارش قابل اعتماد، بلندمدت، با وضوح بالا و جهانی برای تجزیه و تحلیل تغییرات و روند در بارش روزانه، و به ویژه رویدادهای بارش شدید را برآورده کند (Ashouri et al., 2015).

^۴ PERSIANN- PDIR - یک محصول ماهواره‌ای با وضوح بالای جهانی (۰/۰۴ × ۰/۰۴ درجه) در زمان واقعی است که بر تصاویر IR با فرکانس بالا تکیه دارد. تأخیر PDIR-NOW از زمان وقوع بارش بسیار کوتاه است (۱۵ دقیقه تا یک ساعت). PDIR-NOW همچنین عدم قطعیت‌ها و خطاهایی که از تصاویر IR ناشی می‌شود را با اجرای طیف وسیعی از تکنیک‌ها محاسبه می‌کند که مهم‌ترین آن تغییر دینامیکی منحنی‌های (Tb-R) با استفاده از اقلیم‌شناسی بارش است (Nguyen et al., 2020). مشخصات مجموعه بارشی PERSIANN در جدول ۱ قابل ملاحظه است. این داده‌ها از پورتال مرکز آب هواشناسی و سنجش از دور (chrs) به آدرس <https://chrsdata.eng.uci.edu/> قابل دریافت است.

جدول (۱): مشخصات مجموعه بارشی PERSIANN

Table (1): Information of PERSIANN family products

مجموعه داده (اختصار)	قدرت تفکیک زمانی (ساعت)	قدرت تفکیک مکانی (درجه)	سابقه آماری	زمان تاخیر
PERSIANN (PERSIANN)	1	۰/۲۵ × ۰/۲۵	2000/03 – Now	2 days
PERSIANN-CCS (P-CCS)	1	۰/۰۴ × ۰/۰۴	2003/01 – Now	1 h
PERSIANN-CDR (P-CDR)	3	۰/۲۵ × ۰/۲۵	1983/01 – Now	3 months
PERSIANN -PDIR (P-PDIR)	1	۰/۰۴ × ۰/۰۴	2000/03 – Now	15–60 mins

۲-۳- روش اجرای پژوهش

^۱- PERSIANN-Climate Data Record

^۲- National Centers for Environmental Prediction

^۳- Global Precipitation Climatology Project

^۴- PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate

در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای بارش با فرمت NC دریافت و در نرم‌افزار MATLAB داده‌های بارش فراخوانی گردید. در ادامه جهت ارزیابی داده‌های بارش مجموعه PERSIANN با داده‌های مشاهداتی از شاخص‌های آماری CC و RMSE و نیز شاخص‌های طبقه‌بندی POD، FAR، HSS، CSI و KSS استفاده شد جزئیات این شاخص‌ها در جدول ۲ آمده است. برای توضیح بیشتر به (Wilks, D.S., 2019) مراجعه شود.

جدول (۲): شاخص‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش

Table (2): Statistical metrics used in this research

ارزش بهینه	دامنه	فرمول	شاخص	رابطه
1	-1 - 1	$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (R_g - \bar{R}_g)(R_s - \bar{R}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_g - \bar{R}_g)^2 \sum_{i=1}^N (R_s - \bar{R}_s)^2}}$	Correlation coefficient	۱
0	0 - ∞	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_s - R_g)^2}$	Root Mean Square Error	۲
1	0 - 1	$POD = \frac{a}{a+c}$	Probability of Detection	۳
0	0 - 1	$FAR = \frac{b}{a+b}$	False Alarm Rati	۴
1	-∞ - 1	$HSS = \frac{2(ad-bc)}{[(a+c)(c+d)(b+d)]}$	Heidke Skill Scor	۵
1	0 - 1	$CSI = \frac{a}{a+b+c}$	Critical success index	۶
1	-1 - 1	$KSS = \frac{(ad-bc)}{[(a+c)(b+d)]}$	Hanssen & Kuipper's Skill Score	۷

در جدول فوق معرف i روز، N فراوانی داده، R_s مقدار بارش برآورد شده ماهواره، R_g مقدار بارش مشاهده شده ایستگاه هواشناسی، $\bar{R}_s$ میانگین بارش برآورد شده ماهواره، $\bar{R}_g$ میانگین بارش مشاهده شده ایستگاه هواشناسی، a تعداد روزهای که بارش در ایستگاه هواشناسی رخ داده و ماهواره هم بارش تشخیص داده، b تعداد روزهای که بارش در ایستگاه هواشناسی رخ نداده ولی ماهواره بارش تشخیص داده است و d تعداد روزهای که بارشی در ایستگاه هواشناسی رخ نداده و ماهواره هم بارشی تشخیص نداده است.

لازم به ذکر است در این پژوهش مقدار $0/1$ میلی‌متر به عنوان آستانه رویداد بارش در نظر گرفته شد. شاخص همبستگی CC (رابطه ۱) نشان‌دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده بارش توسط ماهواره با مقادیر مشاهداتی بارش است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد رابطه بین مقادیر بارش ماهواره و مشاهده‌ای بهتر و نزدیک‌تر خواهد بود. ریشه دوم میانگین مربع خطا RMSE (رابطه ۲) واریانس خطای ماهواره را در پیش‌بینی مقادیر واقعی نشان می‌دهد. بنابر این هرچه مقدار این آماره به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده خطای کمتر ماهواره در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای است. شاخص احتمال تشخیص POD (رابطه ۳) تعداد رخدادها را در ایستگاه است که به درستی توسط ماهواره تشخیص داده شده‌اند اگر مقدار POD معادل یک باشد، بیانگر این است که ماهواره‌ی مورد نظر روزهای بارانی را به درستی تخمین زده است. شاخص نرخ هشدار اشتباه FAR (رابطه ۴) مبین تعداد دفعاتی است که بارشی در ایستگاه رخ نداده است ولی ماهواره آن روز را بارش تشخیص داده است مقدار آن بین صفر و ۱ می‌باشد. هر چقدر مقدار عددی این شاخص کمتر باشد بیانگر دقت بیشتر ماهواره می‌باشد. HSS (رابطه ۵)، که از $-\infty$ تا ۱ متغیر است، معیاری برای مهارت کلی تخمین روزهای بارندگی پس از حذف رویدادهای بارانی است که به طور تصادفی شناسایی شده‌اند. $HSS < 0$ نشان می‌دهد که شانس پیش‌بینی تصادفی بهتر از پیش‌بینی ماهواره است. $HSS = 0$ به این معنی است که ماهواره فاقد مهارت است و $HSS = 1$ تخمین کامل روزهای بارندگی را توسط ماهواره نشان می‌دهد. در مقایسه با سایر معیارها، HSS سودمند است زیرا توانایی ماهواره را برای مشاهده رویدادهای باران نسبت به رویدادهایی که به طور تصادفی رخ می‌دهند اندازه‌گیری می‌کند. شاخص CSI (رابطه ۶) دقت نسبی ماهواره را تعیین می‌کند این شاخص هم نسبت پیش‌بینی‌های نادرست و هم نسبت به رویدادهای از دست رفته حساس است. شاخص KSS (رابطه ۷) یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین شاخص‌های طبقه‌بندی است. اگر مقدار این شاخص برابر یک باشد، نشان‌دهنده مطابقت کامل مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده‌ای است.

۳- نتایج و بحث

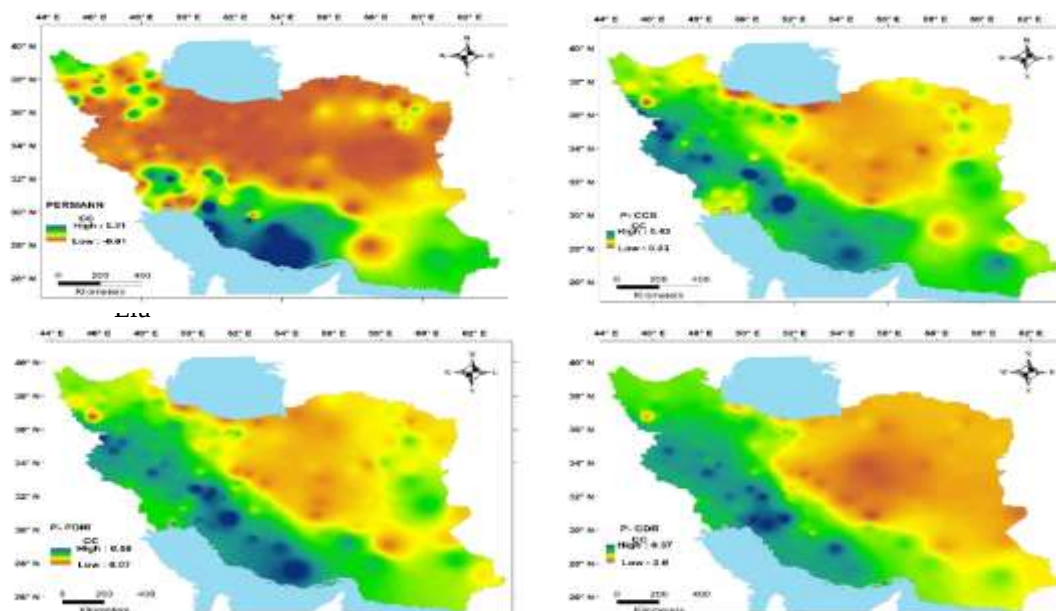
۳-۱- مقیاس روزانه

براساس شاخص CC که نشان‌دهنده شدت و نوع رابطه بین دو متغیر بارش مشاهداتی و بارش ماهواره‌ای است (جدول ۳) منبع P-PDIR با حداقل، حداکثر و متوسط به ترتیب $0/10$ ، $0/58$ و $0/30$ بیشترین مقدار همبستگی را با داده‌های مشاهداتی دارد. کمترین مقدار همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهداتی در این مقیاس مربوط به

منبع PERSIANN با مقدار ۰/۰۶ است این عملکرد ضعیف در شاخص CC در پژوهش ليو^۱ (2023) نیز برای منبع PERSIANN به مقدار ۰/۰۱- گزارش شده است. از لحاظ مکانی همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده است برای P-CCS، P-CDR و P-PDIR بیش‌ترین درصد همبستگی با داده‌های ایستگاهی، منطبق بر رشته کوه‌های زاگرس است در حالی که برای PERSIANN بیش‌ترین مقدار این شاخص در سواحل جنوبی مشاهده می‌شود. کمترین مقدار همبستگی بین دو متغیر بارش ماهواره و مشاهداتی در هر چهار منبع بارشی در سواحل شمالی و ناحیه بیابانی داخلی کشور دیده می‌شود به‌علاوه PERSIANN در مناطق غربی نیز دارای مقدار همبستگی پایین است. از نظر شاخص RMSE که مبین میانگین خطای موجود بین داده‌های مشاهداتی و ماهواره است PERSIANN و P-PDIR با ۳/۴ میلی‌متر کمترین اختلاف را با داده‌های ایستگاهی دارند (جدول ۳) متوسط خطای RMSE منبع بارشی P-CDR و P-CCS به ترتیب ۵/۷ و ۵/۹ میلی‌متر می‌باشد.

جدول (۳) نتایج شاخص‌های آماری در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه برای محصولات خانواده PERSIANN
 Table (3): Results of statistical metrics on daily, monthly and annual scales for PERSIANN family products

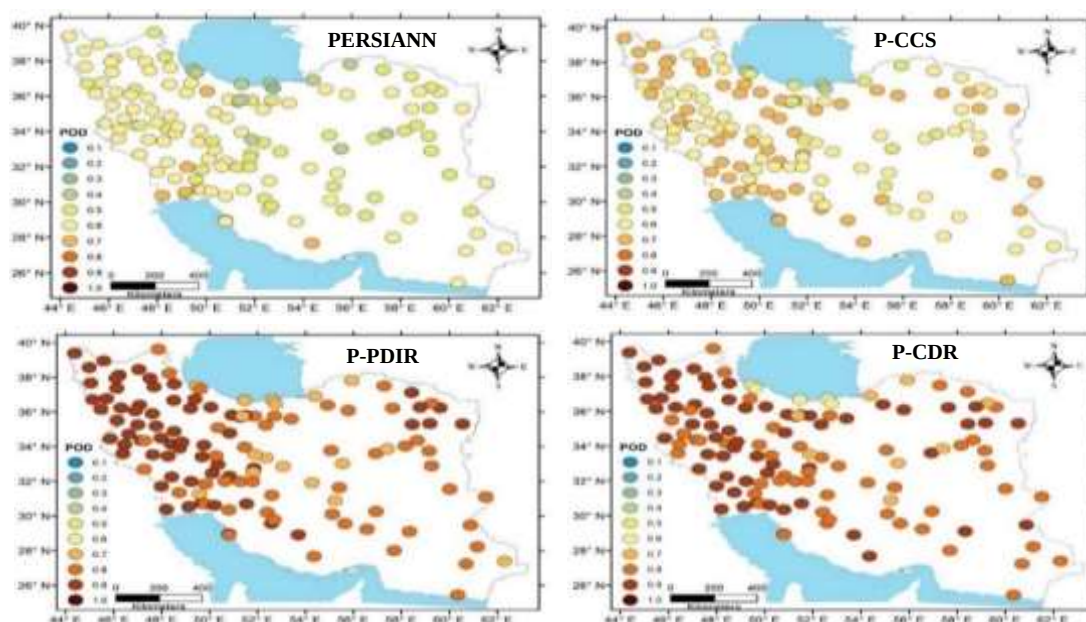
RMSE (mm)			CC (%)			مجموعه داده
سالانه	ماهانه	روزانه	سالانه	ماهانه	روزانه	
177/3	30/8	3/4	0/56	0/55	0/06	PERSIANN
289/4	48/4	5/9	0/37	0/50	0/20	PERSIANN-CCS
152/7	23/4	5/7	0/78	0/81	0/19	PERSIANN-CDR
156/3	28/1	3/4	0/46	0/61	0/30	PERSIANN-PDIR



شکل (۲): تغییرات مکانی مقدار ضریب همبستگی برای محصولات PERSIANN (مقیاس روزانه)

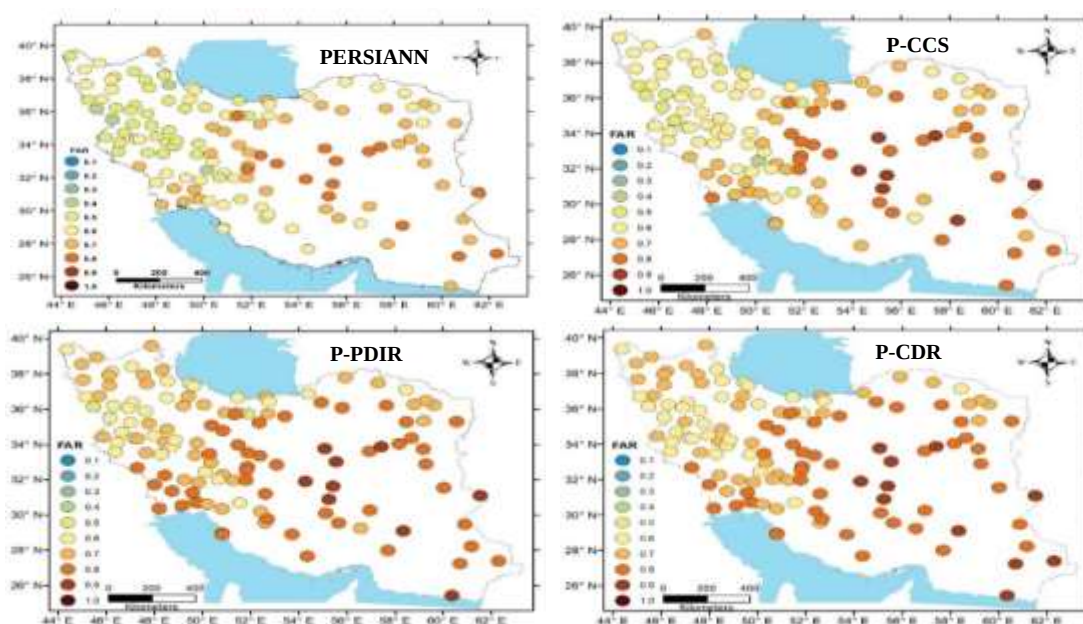
Fig. (2): Spatial variation of correlation coefficient value for PERSIAN products (daily scale)

نتایج ارزیابی شاخص‌های طبقه‌بندی در جدول ۴ قابل مشاهده است. مقدار POD برای P-PDIR در سطح کشور بین ۰/۶۸ و ۰/۸۹ متغیر و به طور متوسط ۰/۷۹ روزهای بارانی را در ایستگاه به درستی تشخیص داده است. P-CCS نیز با POD متوسط ۰/۷۶ عملکرد خوبی را نشان می‌دهد این دو منبع بارشی به ترتیب در ۰/۶۸ و ۰/۷۸ ایستگاه‌ها بیش از ۷۵ درصد وقایع بارشی را برآورد کرده‌اند در حالی که دو منبع دیگر این خانواده یعنی P-CCS و PERSIANN در هیچ ایستگاهی در کشور قادر به تخمین ۷۵ درصد رویدادهای بارش نبوده‌اند. از نظر توزیع مکانی این شاخص (شکل ۳) هر چهار منبع بارشی در مناطق شمالی و تا حدودی بیابانی مرکزی، کمترین دقت را در تشخیص روزهای بارانی نسبت به دیگر مناطق کشور داشتند.



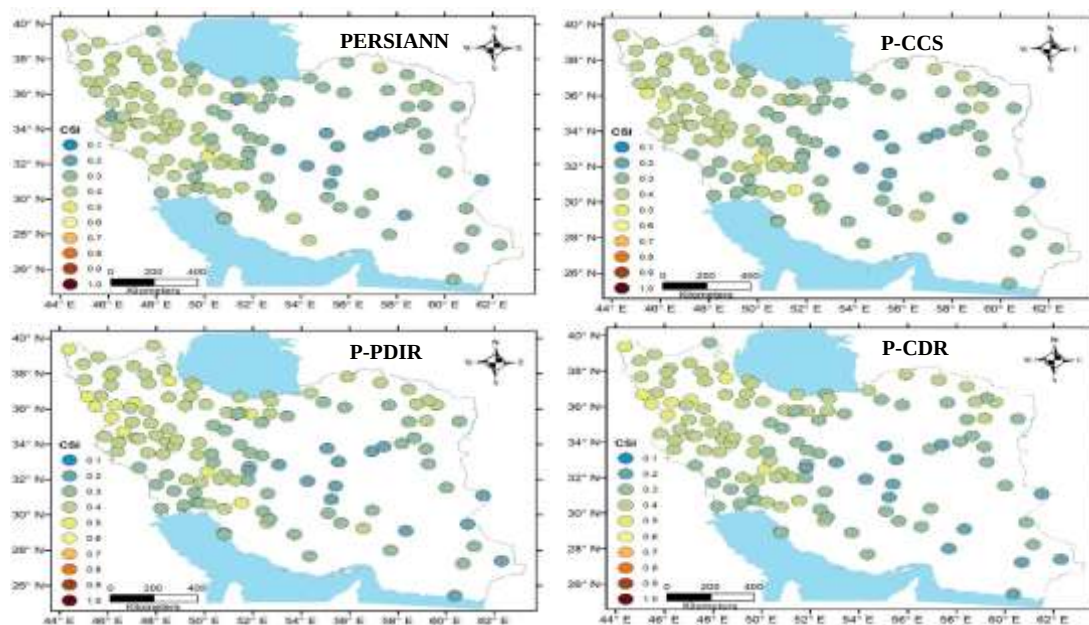
شکل (۳): عملکرد محصولات خانواده PERSIANN براساس شاخص طبقه بندی POD (مقیاس روزانه)
 Fig. (3): Performance of PERSIANN family products based on POD categorical index(daily scale)

پاینتین نرخ هشدار اشتباه (FAR) در بین هر چهار مجموعه مربوط به منبع بارشی PERSIANN با متوسط FAR ۰/۵۴ است این مقدار برای P-CCS، P-PDIR و P-CDR به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۶۴ و ۰/۶۵ است عملکرد بهتر PERSIANN در نرخ هشدار اشتباه در تحقیقات عینی و همکاران (۲۰۲۲) و نگوین و همکاران (۲۰۱۸) نیز ذکر شده است. هر چهار منبع ماهواره همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود در مناطق غربی و شمال غربی نرخ هشدار اشتباه کمتری نسبت به بقیه مناطق کشور داشتند. میزان دقت نسبی ماهواره در برآورد بارش توسط شاخص CSI تعیین می شود که در این شاخص هر چهار منبع خانواده PERSIANN عملکردی نزدیک به هم و دارای دقت نسبی می باشند. مقدار شاخص CSI برای PERSIANN و P-CCS به طور متوسط ۰/۳۱ و برای P-CDR و P-PDIR به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۳۳ است. هرچه از شمال غرب به سمت جنوب شرق می رویم از میزان شاخص CSI کاسته می شود (شکل ۵).



شکل (۴): عملکرد محصولات خانواده PERSIANN براساس شاخص طبقه بندی FAR (مقیاس روزانه)
Fig. (4): Performance of PERSIANN family products based on FAR categorical index (daily scale)

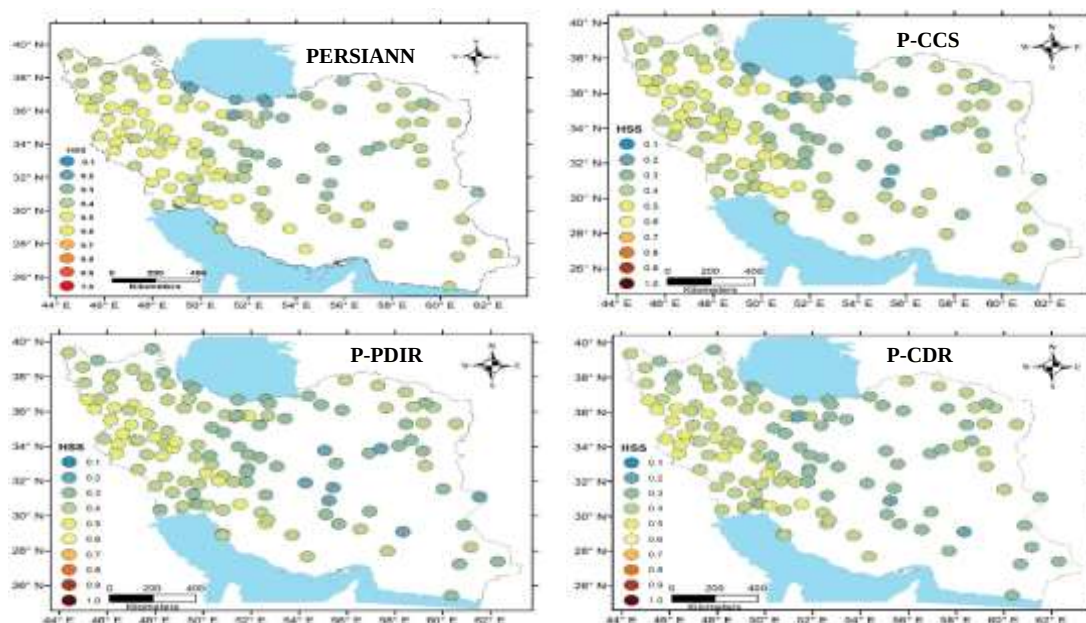
شاخص KSS که به نام TSS^۱ نیز خوانده می‌شود در حقیقت توانایی ماهواره از جداسازی رویدادهای بارش از روزهای که به اشتباه بارش تشخیص داده شده است، را مشخص می‌کند که در این شاخص P-PDIR بیشترین توانایی را با متوسط 0/50 نشان می‌دهد بعد از آن P-CCS، P-CDR و PERSIANN به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۴۰ و ۰/۳۷ قرار دارند. اگر بخواهیم توانایی ماهواره را برای مشاهده رویدادهای باران، نسبت به رویدادهای که به طور تصادفی رخ می‌دهند را اندازه‌گیری کنیم باید از شاخص هینکه یا HSS استفاده کنیم با توجه به اینکه مقدار این شاخص در هر چهار مجموعه بارشی بین ۰/۳۲ تا ۰/۳۶ است می‌توان گفت که ماهواره توانایی نسبی در تخمین رویدادهای بارندگی را دارد.



شکل (۵): عملکرد محصولات خانواده PERSIANN براساس شاخص طبقه بندی CSI (مقیاس روزانه)
 Fig. (5): Performance of PERSIANN family products based on CSI categorical index(daily scale)

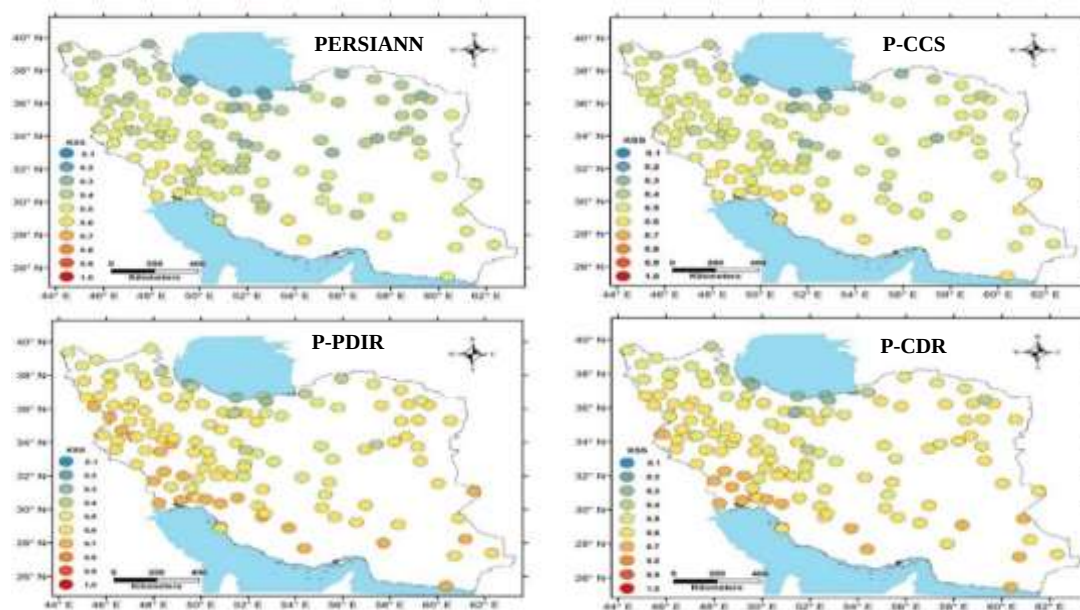
جدول (۴): نتایج شاخص های طبقه بندی در مقیاس روزانه برای محصولات خانواده PERSIANN
 Table (4): Results of categorical metrics on daily scale for PERSIANN family products

بازه زمانی	مجموعه داده	POD	FAR	CSI	HSS	KSS
روزانه	PERSIANN	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۳۷
	PERSIANN-CCS	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۴۰
	PERSIANN-CDR	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۴۷
	PERSIANN - PDIR	۰/۷۹	۰/۶۴	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۵۰



شکل (۶): عملکرد محصولات خانواده PERSIANN براساس شاخص طبقه بندی HSS (مقیاس روزانه)

Fig. (6): Performance of PERSIANN family products based on HSS categorical index(daily scale)



شکل (۷): عملکرد محصولات خانواده PERSIANN براساس شاخص طبقه بندی KSS (مقیاس روزانه)

Fig. (7): Performance of PERSIANN family products based on KSS categorical index(daily scale)

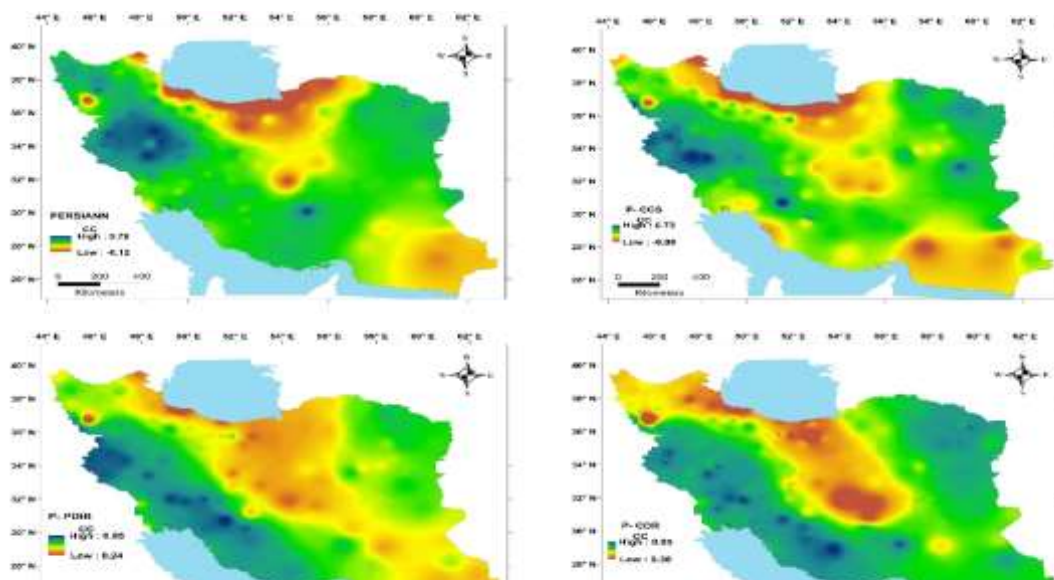
در مقیاس ماهانه (جدول ۳) مقدار همبستگی داده‌های ماهواره با داده‌های ایستگاهی بیشتر از مقیاس روزانه است مقدار همبستگی P-CDR در سطح کشور بین حداقل و حداکثر ۰/۳۸ و ۰/۹۵ و مقدار متوسط همبستگی ۰/۸۱ است بهترین عملکرد این محصول منطبق بر رشته کوه زاگرس و شمال شرق کشور و کمترین مقدار آن در نوار شمالی، نواحی بیابانی مرکزی و شمال غرب کشور است (شکل ۸). مقدار متوسط این شاخص برای PERSIANN، P-PDIR و P-CCS به

ترتیب ۰٫۶۱، ۰٫۵۰ و ۰٫۵۵ است. که نسبت به مقیاس روزانه افزایش مقدار CC را برای هر چهار منبع بارش ماهواره شاهد هستیم. از لحاظ شاخص RMSE نیز P-CDR با مقدار متوسط ۲۳/۴ میلی متر کمترین اختلاف را با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد این مقدار برای P-PDIR و PERSIANN و ۲۸/۱ و ۳۰/۸ میلی متر است در حالی که منبع بارشی P-CCS با ۴۸/۴ میلی متر بیشترین اختلاف برآورد بارشی را با داده‌های ایستگاهی دارد. با توجه به شکل ۹ در هر چهار منبع بارشی، بیشترین مقدار شاخص RMSE در ایستگاه‌های واقع در نواحی پربارش شمال و محدوده زاگرس دیده می‌شود که نشان-دهنده خطای بالای منابع ماهواره در برآورد بارش در این مناطق است.

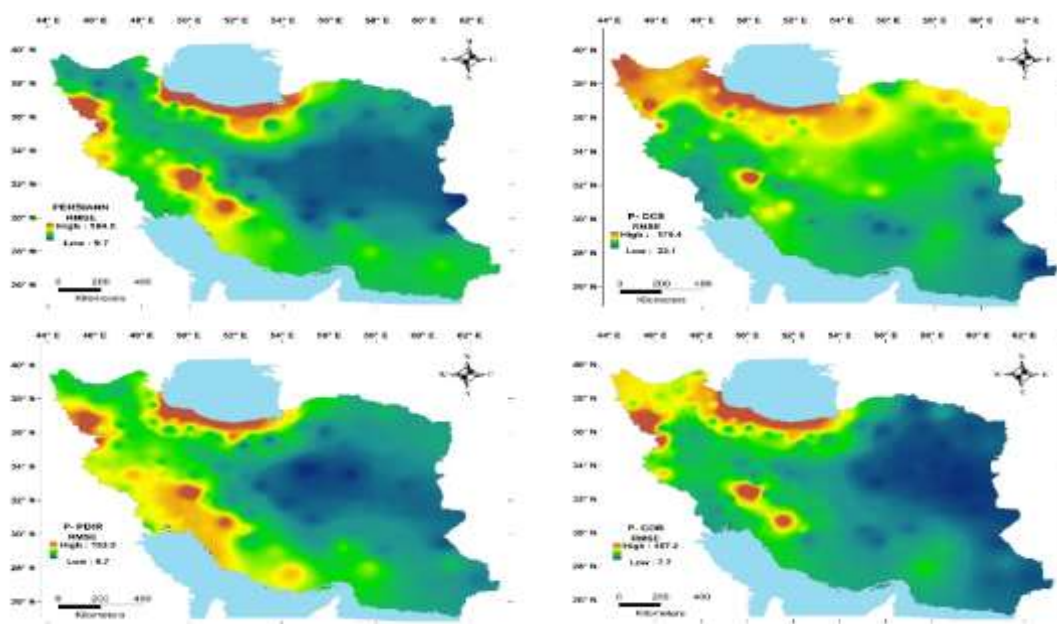
جدول (۵) : نتایج شاخص‌های طبقه‌بندی در مقیاس ماهانه برای محصولات خانواده PERSIANN

Table (5): Results of categorical metrics on daily scale for PERSIANN family products

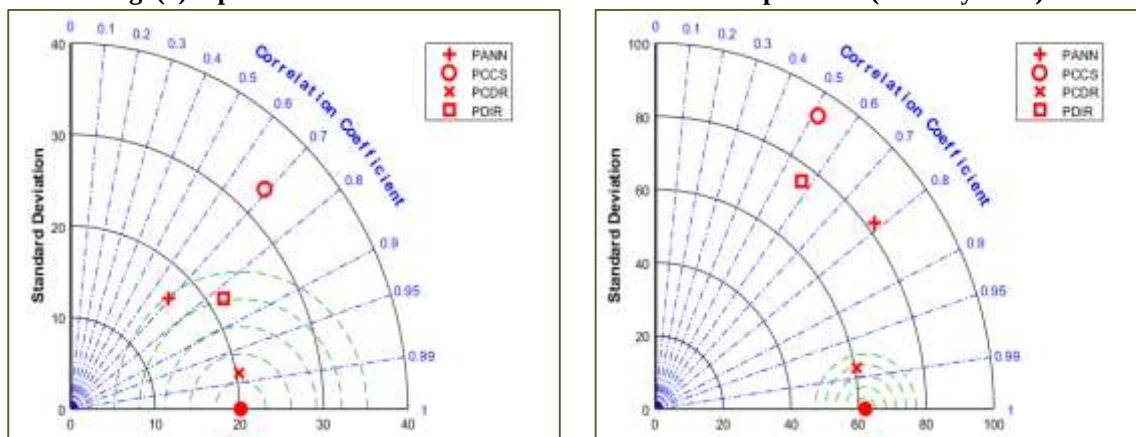
بازه زمانی	مجموعه داده	POD	FAR	CSI	HSS	KSS
ماهانه	PERSIANN	۰/۹۳	۰/۱	۰/۸۶	۰/۶۷	۰/۶۸
	PERSIANN-CCS	۰/۹۲	۰/۱	۰/۸۵	۰/۶۶	۰/۶۶
	PERSIANN-CDR	۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۸۱	۰/۳۸	۰/۳۱
	PERSIANN - PDIR	۰/۹۸	۰/۱۵	۰/۸۴	۰/۵۲	۰/۴۶



شکل (۸): تغییرات مکانی مقدار ضریب همبستگی برای محصولات خانواده PERSIANN (مقیاس ماهانه)
 Fig. (8): Spatial variation of correlation coefficient value for PERSIANN products (monthly scale)



شکل (۹): تغییرات مکانی مقدار RMSE برای محصولات خانواده PERSIANN (مقیاس ماهانه)
 Fig. (9): Spatial variation of RMSE value for PERSIANN products (monthly scale)

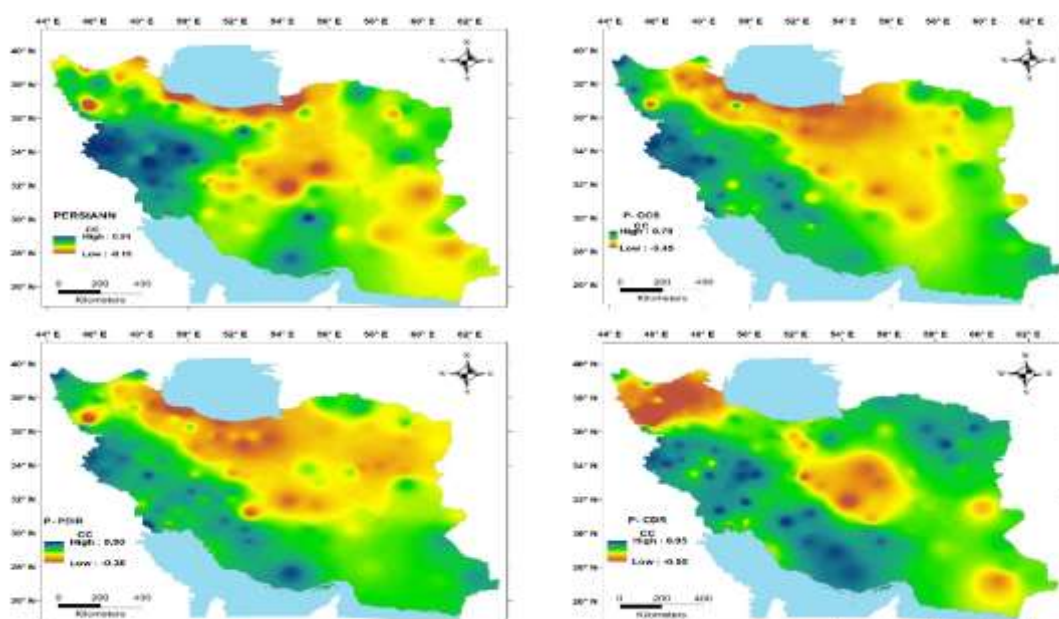


شکل (۱۰): نمودار تیلور بارش محصولات خانواده PERSIANN در ایران (چپ: مقیاس ماهانه، راست: مقیاس سالانه)

Fig. (10): Taylor diagram of precipitation of PERSIANN family products in Iran (left: monthly scale, right: annual

نمودار تیلور (Taylor, ۲۰۰۱)، خلاصه آماری از چگونگی مطابقت داده‌های بارش ماهواره‌ای از نظر شاخص‌های همبستگی، انحراف معیار و RMSE با داده‌های مشاهداتی ارائه می‌دهد به این نحو که هر کدام از منابع بارشی ماهواره از نظر مکانی به نقطه مرجع (داده‌های مشاهداتی) نزدیک‌تر باشند دارای خطای کم در برآورد داده‌های بارش و همبستگی بیشتر با داده‌های مشاهداتی می‌باشند و نشان از کارایی بهتر این منبع دارد. همانطور که در شکل ۱۰ سمت چپ ملاحظه می‌شود بالاترین دقت در نمودار تیلور توسط منبع بارشی P-CDR دیده می‌شود در حالی که بیش‌ترین فاصله با نقطه مرجع را P-CCS دارد که نشان از دقت کمتر این منبع بارشی دارد. همانند شاخص‌های آماری شاهد عملکرد بهتر چهار مجموعه بارش مورد مطالعه در شاخص‌های طبقه‌بندی در مقیاس ماهانه هستیم (جدول ۵). مقدار متوسط POD در سطح کشور برای هر چهار منبع بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۹ است که حاکی از قابلیت بالای داده‌های بارشی ماهواره در تشخیص رویدادهای بارش در مقیاس ماهانه دارد. مقدار شاخص FAR برای PERSIANN، P-CCS، P-PDIR و P-CDR به ترتیب ۱۰، ۱۰، ۱۵ و ۱۸ درصد است که حاکی از کاهش نرخ هشدار اشتباه بارش بخصوص برای منبع بارشی PERSIANN و P-CCS است به نحوی که در ۶۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقدار FAR برای دو منبع اخیر کمتر از ۱۰ درصد بود. با توجه به شاخص CSI می‌توان گفت هر چهار محصول بارشی خانواده PERSIANN در مقیاس ماهانه دارای دقت خوبی هستند اعداد این شاخص برای هر چهار منبع بالای ۰/۸۰ است و در منبع PERSIANN در ۵/۰۰ ایستگاه‌ها این شاخص بیش از ۵/۰۰ است. در شاخص‌های HSS و KSS نیز بهترین عملکرد در مقیاس ماهانه به ترتیب برای PERSIANN، P-CCS، P-PDIR و P-CDR است.

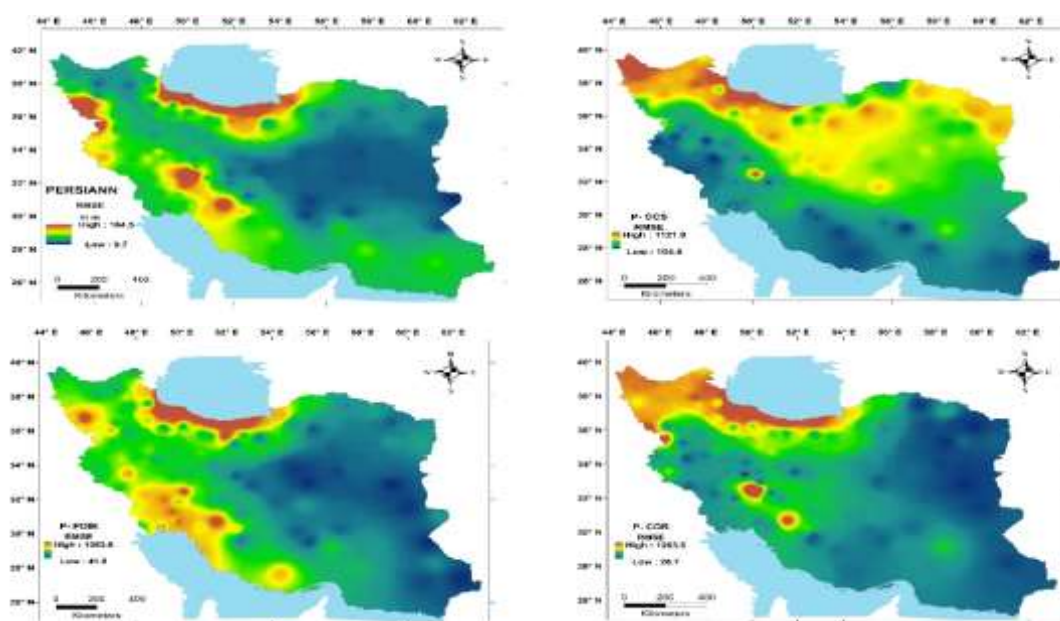
با توجه به جدول ۳ بالاترین مقدار همبستگی سالانه با داده‌های مشاهداتی توسط منبع بارشی P-CDR دیده می‌شود که به طور متوسط در سطح کشور دارای 0/78 همبستگی می‌باشد. این مقدار برای PERSIANN، P-PDIR، P-CCS و P-CCS به ترتیب 0/۵۶، 0/46 و 0/37 است. مقدار همبستگی در مقیاس سالانه نسبت به مقیاس ماهانه در همه منابع کمتر است این کاهش در مطالعه (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷) و (سلمانی دهقانی و سامانی، ۲۰۱۹) نیز مشاهده می‌شود. از لحاظ مکانی نیز همان‌طور که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود منبع P-CDR در نواحی شمال غرب، مرکزی و جنوب شرق کشور مقدار همبستگی کمتر و در غرب، جنوب و شمال شرق کشور بیشترین مقدار همبستگی را با داده‌های ایستگاهی دارد. در سه محصول دیگر مقدار کم این شاخص در نوار شمالی و بیش‌ترین رابطه همبستگی را در قسمت غربی کشور می‌توان دید.



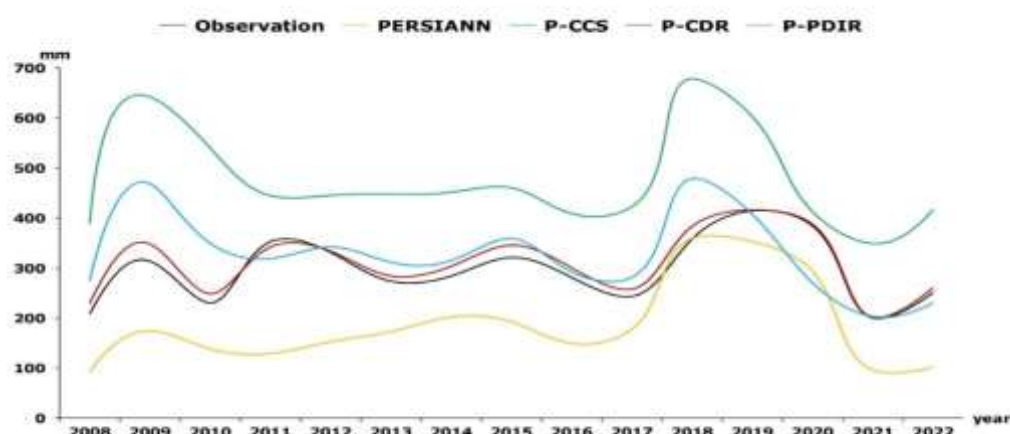
شکل (۱۱): تغییرات مکانی مقدار ضریب همبستگی برای محصولات خانواده PERSIANN (مقیاس سالانه)

Fig. (11): Spatial variation of correlation coefficient value for PERSIAN products (annual scale)

با توجه به جدول ۳ کمترین اختلاف برآورد بارش سالیانه با داده‌های مشاهداتی را P-CDR و P-PDIR دارند به نحوی که مقدار RMSE سالانه این دو منبع به ترتیب ۱۵۲/۷ و ۱۵۶/۳ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین RMSE سالانه را منبع P-CCS با ۲۸۹/۴ میلی‌متر دارد. نتیجه مناسب منبع P-CDR در برآورد بارش سالانه در نمودار تیلور نیز (شکل ۱۰) دیده می‌شود نزدیک بودن این منبع به نقطه مرجع یا داده‌های بارش مشاهداتی و فاصله زیاد منبع P-CCS با آن گویای عملکرد مناسب P-CDR و کم‌دقتی P-CCS در برآورد بارش سالانه است. شکل ۱۳ متوسط بارش سالانه ایستگاهی کشور و مقدار متوسط برآورد شده سالانه چهار منبع بارشی در طول دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۲ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود منبع P-CDR بهترین برآورد متوسط بارش سالانه و کمترین اختلاف را با داده‌های مشاهداتی به ویژه طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ دارد. منبع P-PDIR نیز برآورد خوبی برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ دارد. نکته قابل توجه این شکل کم برآوردی بارش سالانه توسط منبع PERSIANN و بیش‌برآوردی قابل توجه متوسط بارش سالانه توسط منبع P-CCS است.



شکل (۱۲): تغییرات مکانی مقدار RMSE برای محصولات خانواده PERSIANN (مقیاس سالانه)
 Fig. (12): Spatial variation of RMSE value for PERSIANN products ((annual scale)



شکل (۱۳): مقایسه بارش برآوردی سالانه محصولات خانواده PERSIANN و داده‌های مشاهداتی در ایران برای دوره ۲۰۰۸-۲۰۲۲

Fig. (13): Comparison of estimated annual precipitation of PERSIANN family products and observational data in Iran for the period of 2008-2022

۴- نتیجه گیری

بارش یکی از مولفه‌های اقلیمی است که دارای تغییرات زیاد زمانی و مکانی است توسعه روزافزون ماهواره‌ها و الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای، پتانسیل جدیدی برای برآورد بارش فراهم کرده است. لازمه استفاده از این منابع بارشی، اطمینان از میزان دقت و کارایی این داده‌ها است. این تحقیق به بررسی میزان دقت محصولات بارشی خانواده PERSIANN در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه طی بازه زمانی سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۲۲ و در سطح کشور ایران پرداخته است. جهت ارزیابی، نتایج حاصله از چهار منبع ماهواره با داده‌های ۱۲۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و فرودگاهی سازمان هواشناسی کشور مورد مقایسه گرفت. صحت‌سنجی نتایج بدست آمده با استفاده از دو شاخص آماری CC و RMSE و نیز پنج شاخص طبقه‌بندی انجام گردید. در مقیاس روزانه غیر از شاخص FAR و HSS که منبع PERSIANN نتایج مناسب‌تری کسب کرد، در شاخص‌های آماری و طبقه بندی CC، RMSE، POD، CSI و KSS بهترین عملکرد توسط منبع بارشی P-PDIR مشاهده گردید. در مقیاس ماهانه منبع P-CDR توانایی بهتری در مقایسه با سه منبع دیگر دارد. این برتری در شاخص‌های آماری CC، RMSE و شاخص طبقه‌بندی POD دیده می‌شود. به علاوه در نمودار تیلور هم نزدیکترین منبع به داده‌های ایستگاهی براساس CC، RMSE و انحراف معیار، P-CDR بود. لازم به ذکر است تصحیح P-CDR با داده‌های ماهانه

بارانسنجی GPCP می‌تواند دلیل کارایی بهتر این پایگاه بارشی باشد. در مقیاس سالانه به مانند مقیاس ماهانه P-CDR بالاترین دقت در برآورد بارش را در بین مجموعه‌های بارشی خانواده PERSIANN دارد. در این پژوهش منبع PERSIANN بارش سالانه را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده و شاهد بیش‌برآوردی در تخمین بارش سالانه توسط منبع P-CCS هستیم. با این وجود در نواحی پربارش واقع در نوار شمالی و رشته‌کوه زاگرس هر چهار منبع خانواده PERSIANN بارش سالانه را کمتر از مقدار مشاهداتی گزارش کردند. در پایان می‌توان بیان کرد که: الف) در مقیاس روزانه P-PDIR از میزان دقت بالاتری در میان خانواده PERSIANN برخوردار است. ب) در مقیاس ماهانه و سالانه P-CDR عملکرد بهتری دارد و ج) مجموعه بارشی خانواده PERSIANN در مقیاس ماهانه کارایی بالاتری نسبت به مقیاس سالانه و روزانه دارند.

منابع

- 1) Alijanian, M., Rakhshandehroo, G. R., Mishra, A. K., & Dehghani, M. (2017). Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran, *Int. J. Climatol.*, 37, 4896–4914
- 2) Alijanian M A., Moradizadeh M., and Moini R., (1401). Estimation of rainfall using PERSIANN-CDR and CMC satellite products (case study: upstream of Zayandeh Rood Dam). *Ecohydrology*, 9(1), 157-172. (In Persian)
- 3) Ashouri, H., Hsu, K.L., Sorooshian, S., Braithwaite, D.K., Knapp, K.R., Cecil, L.D., Nelson, B.R., & Prat, O.P., (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 96, 69–83.
- 4) Azizian A., and Amini S. (2019). The effect of climate and topographical conditions on the performance of PERSIANN family precipitation products in Iran. *Iran Water Resources Research*, 16(1), 86-101. (In Persian)
- 5) Babaei Fini A., and Farajzadeh Assal M. (۲۰۰۲). Patterns of spatial and temporal changes of precipitation in Iran. *Lecturer of humanities*. 6 (4) consecutively 27. 51-70. (In Persian)
- 6) Chavoshian S. A., and Katiraei Boroujerdi, P. S. (2018). Evaluation and application of different observational datasets (ground and satellite) of precipitation on Iran. *Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 33(3), 501-520. (In Persian)
- 7) Dinku, T., Ceccato, P., Grover-Kopec, E., Lemma, M., Connor, S. J., & Ropelewski, C. F. (2007). Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. *International Journal of Remote Sensing*, 28(7), 1503–1526.

- 8) Eini, M.R., Rahmati, A., & Piniewski, M., (2022). Hydrological application and accuracy evaluation of PERSIANN satellite-based precipitation estimates over a humid continental climate catchment. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 41, 101109.
- 9) Islam, M.A., Yu, B., & Cartwright, N., (2020). Assessment and comparison of five satellite precipitation products in Australia. *J. Hydrol.* 590, 125474
- 10) Gunathilake, M.B., Amaratunga, Y.V., Perera, A., Karunanayake, C., Gunathilake, A.S., & Rathnayake, U., (2020). Statistical evaluation and hydrologic simulation capacity of different satellite-based precipitation products (SbPPs) in the Upper Nan River Basin, Northern Thailand. *J. Hydrol.: Reg. Stud.* 32, 100743
- 11) Ghorbani, L., Jafari R., and Bashri H. (2019). Evaluation of monthly and annual production efficiency of PERSIANN and PERSIANN-CDR in estimating rainfall in semi-arid regions of Zagros. *Journal of Desert Management*, 7(14): 15-28. (in Persian)
- 12) Goodrich, David C., Faurès, Jean-Marc, Woolhiser, David A., Lane, Leonard J., & Sorooshian, Soroosh (1995) Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability. *Journal of Hydrology*, 173 (1). 283-308
- 13) Hsu, K.L., Gao, X.G., Sorooshian, S., & Gupta, H.V., (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *J. Appl. Meteorol.* 36, 1176–1190.
- 14) Huang, W.-R., Liu, P. Y. & Hsu, J. (2021). Multiple timescale assessment of wet season precipitation estimation over Taiwan using the PERSIANN family products. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **103**, 102521.
- 15) Hong, Y., Hsu, K.L., Sorooshian, S., Gao, X., 2004. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 43 (12), 1834–1853.
- 16) Khalili A and Rahimi J. (2014) .High-resolution spatiotemporal distribution of precipitation in Iran: A comparative study with three global-precipitation datasets. *Theoretical and Applied Climatology* 118(1–2):211–221.
- 17) Karbalaee, N., Hsu, K., Sorooshian, S., & Braithwaite, D. (2017). Bias Adjustment of Infrared Rainfall Estimation Using Passive Microwave Satellite Rainfall Data, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 122, 3857–3876.
- 18) Kenzi Haq M., Faizi A., and Hoshariipour F. (۲۰۲۲). Evaluating the accuracy of satellite precipitation products in estimating rainfall related to flood months (case study: Yamchi Dam catchment area, Ardabil). *Ecohydrology*, 9(2), 317-331. (In Persian)
- 19) Katirae-Boroujerdy P.S., Nasrollahi N., Hsu K.L., & Sorooshian S. (2013). Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of Arid Environments* 97: 205-219.
- 20) Kaviani, M. & Alijani, b. (2006). *The Foundations of Climatology*. Fifth edition. Tehran. Samt. (In Persian)

- 21) Lombardo, F., Napolitano, F., Russo, F., Scialanga, G., Baldini, L., & Gorgucci, E. (2006), Rainfall estimation and ground clutter rejection with dual polarization weather radar, *Advances in Geosciences* 7: 127–130.
- 22) Li, H., Hong, Y., Xie, P., Gao, J., Niu, Z., Kirstetter, P., & Yong, B., (2015a). Variational merged of hourly gauge-satellite precipitation in China: Preliminary results. *J. Geophys. Res. Atmos.* 120 (19), 9897–9915.
- 23) Mousavi Dehaghani A., Gohari A., Zareian M. J & Torabi Haghighi A. (2023). A comprehensive evaluation of the satellite precipitation products across Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, (46) 101360.
- 24) Nguyen, P., Ombadi, M., Gorooh, V.A., Shearer, E.J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., Hsu, K., Bolvin, D., & Ralph, M.F., (2020). PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate (PDIR-Now): A Near-Real-Time, Quasi-Global Satellite Precipitation Dataset. *J. Hydrometeorol.* 21, 2893–2906.
- 25) Nguyen, P., Ombadi, M., Sorooshian, S., Hsu, K., AghaKouchak, A., Braithwaite, D., Ashouri, H., & Thorstensen, A.R., (2018). The PERSIANN family of global satellite precipitation data: A review and evaluation of products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, 5801–5816.
- 26) Rauniyar, S. P., A. Protat, & H. Kanamori (2017), Uncertainties in TRMM-Era multisatellite-based tropical rainfall estimates over the Maritime Continent, *Earth and Space Science*, 4, 275–302.
- 27) Rahimi, J., Ebrahimpour, M., & Khalili, A.. (2013). Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 112, 409–418.
- 28) Sadeghi, M., Nguyen, P., Naeini, M.R., Hsu, K., Braithwaite, D., & Sorooshian, S., (2021). PERSIANN-CCS-CDR, a 3-hourly 0.04° global precipitation climate data record for heavy precipitation studies. (PERSIANN-CCS-CDR). *Sci. Data* 8, 157.
- 29) Salmani-Dehaghi, N., Samani, N., (2019). Spatiotemporal assessment of the PERSIANN family of satellite precipitation data over Fars Province, Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 138, 1333–1357.
- 30) Sorooshian, S., Hsu, K.L., Gao, X., Gupta, H.V., Imam, B., & Braithwaite, D., (2000). Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81, 2035–2046.
- 31) Shakari Kochak S., Akhundali A. M., and Sharifi, M. R. (2019). Evaluation of the performance of PERSIANN and PERSIANN-CDR satellite precipitation algorithms and Investigating the impact of topography on it (case study: Helleh watershed). *Ecohydrology*, 7(2), 511-527. (In Persian)
- 32) Taylor, K.E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7): 7183-7192.
- 33) Wilks, D.S., 2019. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Forecast verification, fourth ed. Elsevier Inc., pp. 369–483.

- 34) Zhang, Y., Najafi, M.R., 2020. Probabilistic numerical modelling of compound flooding caused by tropical storm Matthew over a data-scarce coastal environment. Water Resour. Res. e2020WR028565.
- 35) Zhao Fei Liu . (2023) . Accuracy of satellite precipitation products in data-scarce Inner Tibetan Plateau comprehensively evaluated using a novel ground observation network: Journal of Hydrology: Regional Studies (47)101405

Evaluation of PERSIANN family satellite precipitation data on daily, monthly and annual scale in Iran

Abstract

Precipitation is the most important factor in the hydrological cycle, which has many temporal and spatial changes. The use of satellite precipitation data can be of great use in climatic and hydrological research, especially in areas without rainfall statistics. Over the past three decades, a large number of satellite-derived global precipitation datasets have been developed and used. The purpose of the current research is to investigate the accuracy of the satellite precipitation data of the PERSIANN family products, which includes: PERSIANN, PERSIANN-CCS, PERSIANN-CDR and PERSIANN-PDIR. For this purpose, the daily, monthly and annual data of these products were compared with the observational data of 129 meteorological stations in Iran and in the period of 2008-2022. The evaluation of the accuracy of satellite precipitation data was done using CC and RMSE statistical indices and POD, FAR, CSI, HSS and KSS Categorical metrics. The results on a daily scale indicate the better efficiency of the PERSIANN-PDIR source with correlation and RMSE is 0.30 and 3.4 mm respectively and better performance in POD, CSI and KSS indices. In the monthly and annual scale, PERSIANN-CDR has the best estimation in monthly and annual precipitation with correlation values of 0.81, 0.78 and RMSE 23.4 and 152.7 mm. The PERSIANN source has an underestimation of annual precipitation and the PERSIANN-CCS source also has an overestimation of precipitation. However, in the high rainfall areas located in the northern belt and the Zagros mountain range, PERSIANN family products reported the annual rainfall lower than the actual amount and perform better on a monthly scale than on a daily and annual scale.

Keywords: Precipitation, Iran, PERSIANN Family, Statistical Indices, Classification Indices

