



ارزیابی کارایی سه پایگاه داده در برآورد سری زمانی بارش‌های حدی در ایران

محمدسعید نجفی^{۱*}، سجاد اکبری مقدم ثانی^۲

^۱عضو هیات علمی پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه های هیدرولیکی، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۴

چکیده

علی‌رغم مطالعاتی که تاکنون در زمینه ارزیابی پایگاه‌های داده بارش در ایران انجام شده است، همچنان یک خلأ پژوهشی در زمینه بررسی کارایی داده‌های شبکه‌ای در برآورد بارش‌های حدی بر اساس نواحی اقلیمی مختلف در کشور احساس می‌شود. در این مطالعه کارایی چهار پایگاه داده (Global Precipitation Measurement (GPM)، ECMWF Reanalysis version-5 (ERA5)، Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) و PERSIANN-Dynamic Infrared-Rain rate (PDIR) در برآورد نمایه‌های حدی بارش (R95p، R20mm، R10mm، CWD، CDD، Rx5day، Rx1day) در ۱۴۵ ایستگاه در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷ در کستره کشور بررسی شد. جهت ناحیه‌بندی مناطق همگن بارشی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد و بر این اساس ایران به ۶ ناحیه بارشی شامل (۱) سواحل دریای خزر، (۲) شمال غرب، (۳) غرب، (۴) جنوب غرب و سواحل خلیج فارس، (۵) شمال شرق و دامنه‌های بادپناهی (۶) جنوب شرق و مرکز تقسیم شد. در ادامه، کارایی پایگاه‌های داده در برآورد بارش‌های روزانه براساس سنجه‌های درصد خطا و ضریب همبستگی بررسی شد که نتایج این بخش نشان داد که ERA5 دارای بهترین عملکرد، دو پایگاه داده GPM و TRMM دارای کارایی قابل قبولی در برآورد بارش‌های روزانه هستند و می‌توان از آن‌ها برای برآورد نمایه‌های حدی بارش استفاده کرد و PDIR نیز فاقد کارایی در برآورد بارش روزانه در کشور است. در ادامه کارایی سه پایگاه داده در ۶ ناحیه بارشی بررسی شد و نتایج این بخش نشان می‌دهد که بطور کلی داده‌های GPM دارای بیشترین و TRMM کمترین کارایی در برآورد نمایه‌های حدی بارش در ایران است. در دو ناحیه بارشی غرب و همچنین جنوب شرق و مرکز این پایگاه‌های داده دارای کارایی بیشتری نسبت به دیگر نواحی در برآورد نمایه‌های حدی بارش در ایران هستند.

واژه‌های کلیدی: بارش، پایگاه داده شبکه‌ای، ناحیه بندی، نمایه‌های حدی، ایران.

مقدمه

داده‌هایی که توسط ایستگاه‌های هواشناسی ثبت می‌شوند یکی از دقیق‌ترین داده‌ها و مبنای طیف وسیعی از مطالعات علمی در مسائل مختلف آب، انرژی، محیط زیست و کشاورزی هستند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹). گرچه استفاده از این داده‌ها دارای محدودیت خاص مربوط به خود نیز هستند، محدودیت در برداشت‌های روزانه، کم بودن و توزیع نامناسب

ایستگاه‌ها، عدم به‌روز رسانی به‌موقع به ویژه در کشورهای توسعه نیافته یا در حال توسعه، طول دوره آماری کوتاه مدت و محدودیت در احداث این ایستگاه‌ها در مناطق کوهستانی (کولستون و همکاران، ۲۰۱۸؛ احمد و همکاران، ۲۰۱۹) از جمله این محدودیت‌ها هستند. در طی چند دهه گذشته با توسعه تجهیزات اندازه‌گیری جدید و فناوری‌های محاسباتی پیشرفته (مانند ماهواره‌ها، مدل‌های جهانی، مجموعه داده‌های بازتحلیل) فرصت‌هایی را برای پژوهشگران در حوزه‌های مختلف آب و هوا، محیط زیست، کشاورزی

*نویسنده مسئول: ms.najafi@wri.ac.ir

و ... ایجاد کرده است تا در صورت فراهم نبودن داده‌های ایستگاهی بتوانند از اندازه‌گیرهایی که حاصل ابزارهای جایگزین است برای ارزیابی شرایط آب و هوایی در یک منطقه و برای یک دوره طولانی مدت استفاده نمایند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ خان و همکاران، ۲۰۱۹).

در میان متغیرهای مختلف اقلیمی، بارش یک جزء اصلی در سامانه آب و هوای جهانی و منبع اصلی تأمین آب در خشکی است. وجود منابع آب شیرین متضمن توسعه اجتماعی-اقتصادی، یک پارچگی محیط زیست و همچنین حفظ حیات روی کره زمین است (تیان و همکاران، ۲۰۰۷؛ ده‌ری و همکاران، ۲۰۲۱). رواناب، رطوبت خاک، پوشش گیاهی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و دیگر متغیرهای آب و هوایی با تغییر میزان بارش در منطقه تغییر می‌کنند، به‌همین دلیل برآورد دقیق بارش از موضوعات مهم در زمینه مدیریت منابع آب و به‌خصوص مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۷). علاوه بر این، رویدادهای حدی بارش که بر اکوسیستم‌ها، اقتصاد و جامعه تأثیر می‌گذارد (شیا و همکاران، ۲۰۱۵) به‌طور مکرر در سراسر جهان رخ می‌دهد. چنین رویدادهای حدی مانند سیل، طوفان و خشک‌سالی می‌توانند منجر به خسارات غیرقابل جبرانی بر کشاورزی، محیط زیست، اقتصاد و حیات انسان وارد نمایند (کاتسانوس و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به محدودیت‌های ایستگاه‌های زمینی در اندازه‌گیری بارش، در صورت وجود داده‌های جایگزین برای برآورد بارش و بررسی رخداد‌های حدی آب و هوایی در نواحی فاقد داده، می‌توان به شناخت صحیحی از رفتار رخداد‌های حدی در دوره‌ها و مناطق فاقد داده دست یافت.

تاکنون تلاش‌های زیادی برای اندازه‌گیری و پایش بارش صورت گرفته است که از جمله آن می‌توان به توسعه داده‌های شبکه‌ای بارش در مقیاس‌های جهانی، منطقه‌ای و محلی اشاره کرد که برای ارائه اطلاعات بارش و تجزیه و تحلیل رویدادهای حدی آب و هوایی و رویدادهای اقلیمی ایجاد توسعه یافته اند (بلاکوت و

همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، پایگاه داده‌های شبکه‌ای اغلب برای خلاصه کردن ویژگی‌های اقلیمی رخداد‌های حدی بارش استفاده می‌شود (هو و همکاران ۲۰۱۸). از آنجایی که این مجموعه داده‌ها معمولاً چندین دهه را پوشش می‌دهند، به ویژه مجموعه داده‌های بازکاوی شده، می‌توانند دوره آماری طولانی تری را برای تحلیل رخداد‌های حدی آب و هوایی فراهم نمایند. در سال‌های اخیر، تعداد پایگاه‌های داده شبکه‌بندی‌شده جهانی که مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوتی دارند، افزایش یافته است. این مجموعه داده‌ها عموماً شامل پایگاه‌های بازکاوی شده (به عنوان مثال ERA-Interim، NCEP/NCAR-1، JRA-55)، محصولات ماهواره‌ای (مانند: CHIRPS، PERSIANN، TRMM)، محصولات بارشی مبتنی بر داده‌های زمینی (مانند CRU) و ترکیبی از مجموعه داده‌های بارشی مختلف (مانند GPCP) طبقه‌بندی می‌شوند.

به‌طور کلی، از نظر کاربرد، مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی شده جهانی به سه گروه تقسیم می‌شوند: (۱) داده‌های تاریخی که به‌روز رسانی آن‌ها همراه با چند ماه/سال تاخیر می‌باشد. این داده‌ها در ارزیابی روندهای زمانی واکنش متغیرهای آبی-اقلیمی به تغییرات آب و هوایی، یا بررسی رویدادهای آب و هوایی حدی و وقایع اقلیمی استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای اصلی این داده‌ها بررسی روند بارش، رواناب و خشک‌سالی است (کتیرایی بروجردی و همکاران، ۲۰۱۶). (۲) داده‌های نزدیک به پیش‌بینی‌های زمان واقعی و کوتاه مدت. این اطلاعات از مدل‌های عددی و اطلاعات سنجش از دور یا ترکیبی از هر دو به دست می‌آید. از این اطلاعات می‌توان در آماده سازی سیستم‌های هشداردهنده سیلاب، مدیریت منابع آبی و استفاده بهینه از مخازن سد در کوتاه مدت استفاده کرد (نیکولوپولوس و همکاران، ۲۰۱۳؛ کاس و همکاران). (۳) دسته سوم حاصل اجرای مدل‌های گردش کلی (GCM) با سناریوهای انتشار مختلف است. این مجموعه داده اطلاعات آب‌وهوایی را برای پیش‌بینی، به عنوان مثال برای برنامه‌ریزی انرژی،

جنوب غربی ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که این محصول می‌تواند رفتار مکانی و زمانی بسیاری از شاخص‌های بارش حدی به ویژه برای شاخص‌های ثابت و غیر آستانه را به تصویر بکشد. دارند و خاندو (۲۰۲۰) بیست و سه مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی شده جهانی و منطقه‌ای را در ایران ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که به ترتیب پایگاه‌های اسـفـزارـی^۱، APHRODITE^۲، CHIRPS^۳ و PCC عملکرد را داشتند. رحمتی و مساح باوانی (۱۳۹۸) نشان دادند که پایگاه داده APHRODITE می‌تواند به عنوان یک جایگزین برای داده‌های مشاهداتی بارش برای مطالعات منابع آب در حوزه کارون در جنوب غرب ایران مورد استفاده قرار گیرد. علیجانیان و همکاران (۲۰۱۷) پنج پایگاه داده بارش ماهواره‌ای (CMORPH^۳، PERSIANN، PERSIANN-CDR، PERSIANN، TRMM^۴، MSWEP^۴) را در مقایسه داده‌های مشاهداتی در سراسر ایران ارزیابی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که MSWEP تخمین بارش در مقیاس زمانی روزانه و تشخیص شرایط بارانی از بدون باران دارای بیشترین دقت و پایگاه داده PERSIANN-CDR در تخمین بارندگی شدید بهتر از سایر پایگاه‌ها بوده است. کتیرایی بروجردی (۲۰۱۶) نشان داد که دو پایگاه داده مبتنی بر ایستگاه‌های زمینی (GPCC و APHRODITE) عملکرد بهتری نسبت به مجموعه داده‌های MERRA و GLDAS در پایش خشک‌سالی دارند. علی‌رغم مطالعاتی که در زمینه ارزیابی مجموعه داده‌های بارش شبکه‌ای در ایران انجام شده است، همچنان یک خلأ پژوهشی در ارزیابی کارایی این پایگاه‌های داده در برآورد بارش‌های حدی بر اساس شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی نواحی مختلف در ایران احساس می‌شود. بنابراین هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی چهار پایگاه داده ERA5، GPM،

اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در آینده فراهم می‌کند. تفاوت‌های زیادی در برآورد بارش در این مجموعه داده‌ها وجود دارد. برخی از آنها مانند پایگاه‌های داده ماهواره‌ای با محدودیت‌هایی در طول دوره ثبت داده‌ها همراه هستند (سان و همکاران، ۲۰۱۸) و وضوح مکانی مناسبی برای برخی کاربردها ندارند. با این حال، آنها هنوز اطلاعات ارزشمند و مهمی را برای مطالعات اقلیمی و پایش هیدرولوژیکی ارائه می‌دهند. داده‌های بارش شبکه‌ای محدودیت‌های رایج داده‌های زمینی مانند توزیع نامنظم و کمیاب بودن ایستگاه‌ها را ندارند اما به دلیل عدم قطعیت در روش‌های تخمین بارش، نمی‌توان بدون ارزیابی از این پایگاه‌های داده استفاده کرد. بنابراین، ارزیابی دقیق این مجموعه‌های داده پیش‌نیاز استفاده و به‌کارگیری آن‌ها است (احمد و همکاران، ۲۰۱۹). دقت داده‌های شبکه‌ای را می‌توان به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم ارزیابی کرد. در ارزیابی مستقیم، بارش برآورد شده از پایگاه داده و بارش مشاهداتی از داده‌های زمینی بر اساس معیارهای ارزیابی آماری که شامل آزمون‌های آماری پارامتری و غیرپارامتری است، مقایسه می‌شوند. ارزیابی غیرمستقیم مبتنی بر استفاده از یک مدل بارش-رواناب و مقایسه میزان رواناب برآورد شده حاصل از داده‌های شبکه‌بندی شده و رواناب مشاهداتی است (رحمتی و مساح باوانی ۱۳۹۸). در ارتباط با بررسی کارایی پایگاه‌های مختلف داده، کالینز و همکاران (۲۰۲۱) پایگاه داده Climatic Research Unit (CRU) را با داده‌های مشاهداتی در ایران مقایسه کردند و نتایج آن نشان داد که این پایگاه داده دارای دقت قابل قبولی در برآورد بارش در ایران است. فلاح و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی کارایی ۱۳ پایگاه داده در تخمین بارش در مقایسه با داده‌های مشاهداتی ایستگاهی در حوزه کارون در جنوب غربی ایران را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که پایگاه داده Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) v.8 دارای بیشترین کارایی در برآورد بارش ماهانه در این منطقه است. کیانی و همکاران (۲۰۲۰) توانایی مجموعه داده TRMM 3B42 را برای تشخیص الگوهای مکانی و زمانی در رویدادهای حدی بارش در

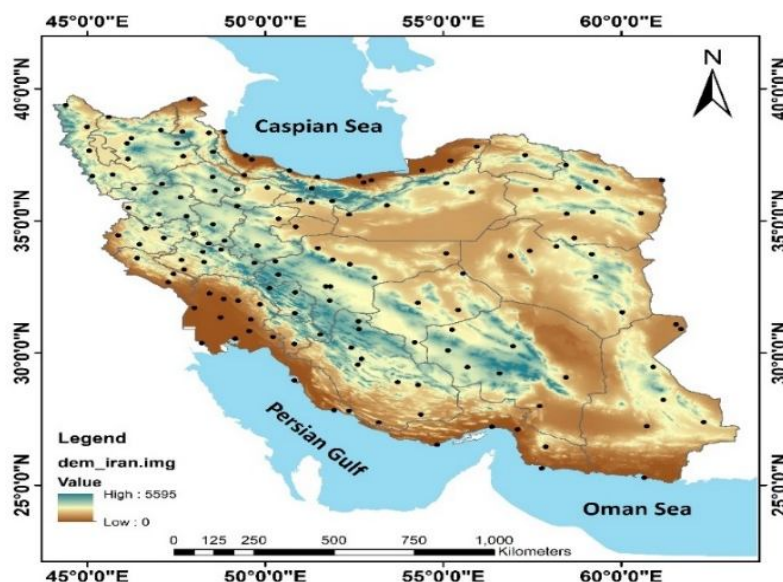
1. Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation
2. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
3. CPC Morphing technique for the production of global precipitation estimates
4. Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation

TRMM و PERSIANN-PDIR در برآورد نمایه‌های حدی بارش در ایران است.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌های مشاهداتی: منطقه مورد مطالعه در این مطالعه کشور ایران یکی از کشورهای وسیع جهان است که به لحاظ موقعیت جغرافیایی در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین 25° و 39° عرض شمالی از خط استوا و 14° و 44° طول شرقی از نصف النهار مبدأ قرار دارد. این مطالعه به منظور ارزیابی کارایی چهار پایگاه جهانی داده بارش TRMM، ERA5، GPM و PERSIANN-PDIR

کاربرد آن در برآورد نمایه‌های حدی بارش در ایران انجام شده است. بدین منظور ابتدا داده‌های مورد نیاز شامل داده‌های بارش روزانه از سازمان هواشناسی کشور در ۱۴۵ ایستگاه در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷ برای یک دوره آماری ۱۸ ساله تهیه گردید. سپس با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی به شناسایی نواحی بارشی و با استفاده از آزمون‌های آماری به بررسی کارایی هریک از پایگاه‌های مورد مطالعه در تخمین نمایه‌های حدی بارش در ایران پرداخته شد. پراکندگی فضایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱: پراکندگی فضایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

پایگاه‌های داده: پایگاه‌های داده بارش مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN-PDIR که ویژگی‌های هر پایگاه در

جدول (۱) آورده شده است. در این مطالعه برای استخراج مقادیر بارش از پایگاه‌های داده از روش نزدیکترین همسایه استفاده شده است.

جدول ۱: ویژگی کلی پایگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه

محصول	پوشش زمانی	قدرت تفکیک مکانی	مقیاس پوشش	توسعه دهنده	نوع داده
ERA5	1979 - near real time	$\sim 0.28^\circ$	Global	ECMWF (Hersbach 2020)	Reanalysis
GPM	200006 - near real time	$\sim 0.1^\circ$	60°N-60°S	NASA (Huffman et al., 2015)	Multi-satellite
TRMM	1998 - near real time	0.25°	50°N-50°S	NASA and JAXA (Hamal et al., 2020)	Multi-satellite
PERSIANN PDIR	2000- near real time	0.25°	Global	Center for Hydrometeorology and Remote Sensing at the University of California, Irvine (Nguyen et al., 2020)	Satellite

مجموع بارش در ۱۴۵ ایستگاه برای یک دوره ۱۸ ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۰) در ماتریسی به ابعاد 145×216 (تعداد ایستگاه $\times$ تعداد ماه‌های سال در دوره ۱۸ ساله و بر اساس مقادیر بارش ماهانه، فصلی برای هر سال و همچنین مقادیر ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه) مرتب و به عنوان ورودی تحلیل مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای چرخش مؤلفه‌ها از روش واریماکس استفاده شد.

برای نرمال‌سازی داده‌ها به منظور کاهش چولگی آن‌ها و نزدیک‌تر شدن توزیع سری داده‌های بارش ایستگاه‌ها به توزیع نرمال از ریشه سوم مقادیر بارش به جای مقدار واقعی بارش ایستگاه‌ها استفاده شد (رضیئی ۱۳۹۵). به منظور بررسی کفایت ماتریس داده‌های مورد استفاده برای استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی از آزمون KMO (شسکین ۲۰۰۷) استفاده شد (رابطه ۱).

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}^2} \quad (1)$$

در این رابطه r_{ij}^2 و a_{ij}^2 به ترتیب ضریب همبستگی ساده و ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر i و j است. مقدار KMO برابر یا بزرگتر از ۰/۹ یعنی ماتریس مورد نظر برای انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی دارای شرایط بسیار عالی است. اگر برابر یا بزرگتر از ۰/۸ و کوچکتر از ۰/۹ بود شرایط عالی، برابر یا بزرگتر از ۰/۷ و کوچکتر از ۰/۸ بود، شرایط خوب، برابر یا بزرگتر از ۰/۶ و کوچکتر از ۰/۷ بود، شرایط تقریباً مناسب، برابر یا بزرگتر از ۰/۵ و کوچکتر از ۰/۶ شرایط نامناسب و

ناحیه بندی: با توجه به تنوع اقلیمی ایران و سهم متفاوت نواحی مختلف از میزان بارش و همچنین توزیع فصلی و سالانه بارش در ایران، برای تحلیل بهتر توانمندی هر یک از پایگاه‌های داده در برآورد بارش در ایران، بهتر است که ارزیابی‌ها در نواحی مختلف انجام شود. بنابراین نیاز است که یک ناحیه بندی بارش در ایران صورت گیرد (علیزاده چوبری و نجفی، ۲۰۱۸). به این منظور از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. با توجه به اینکه روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های آماری چند متغیره است و در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات مواجه هستیم، استفاده شود. دلیل اصلی استفاده از PCA^1 کاهش ابعاد داده‌هایی است که همبستگی نسبی بالایی با همدیگر دارند. کاهش ابعاد داده‌ها به کمک تبدیل این داده‌ها به متغیرهای جدید -عامل‌ها یا مؤلفه‌های مستقل از هم^۲ (PCs) - آن چنان صورت می‌گیرد که اولاً چند مؤلفه در بر گیرنده بخش زیادی از تغییرات کل داده‌ها باشند و ثانیاً هر مؤلفه مستقل از مؤلفه دیگر است و بین مؤلفه‌ها همبستگی وجود ندارد. با اعمال این روش متغیرهای اولیه به تعدادی مؤلفه‌های جدید و مستقل از هم تبدیل می‌شوند. برای انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی معمولاً از ماتریس همبستگی بین متغیرها استفاده می‌شود و محاسبه مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر متغیر مستلزم پیدا کردن مقادیر ویژه این ماتریس‌ها می‌باشد (رضیئی ۱۳۹۵). در این مطالعه برای تعیین نواحی بارشی ایران از

1. Principal Component Analysis
2. Principal Components (PCs)

اگر کوچکتر از ۰/۵ بود شرایط ماتریس بسیار نامناسب است (شسکین ۲۰۰۷).

روش‌های ارزیابی: برای ارزیابی پایگاه‌های داده بارش در برآورد نمایه‌های حدی بارش در ایران در مقایسه با مقادیر مشاهداتی، از سنج‌های آماری خطای نسبی (RB) و ضریب همبستگی پیرسون (r) (روابط ۲ و ۳) استفاده گردید.

$$\text{Relative Bias (RB)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Pearson Correlation Coefficient (r)} = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (3)$$

در روابط بالا، p_i مقدار بارش برآورد شده در پایگاه داده، O_i مقدار بارش مشاهداتی در ایستگاه‌ها، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده، $\bar{P}$ میانگین مقادیر برآورد شده و n تعداد مشاهدات است.

نمایه‌های حدی بارش: در جدول (۲) نحوه محاسبه و توضیحات مربوط به نمایه‌های حدی بارش مورد استفاده تشریح شده است. این نمایه‌ها توسط (ETCCDI) برای شناسایی رخدادهای حدی پیشنهاد شده است و بر اساس داده‌های روزانه قابل محاسبه هستند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول ۲: نمایه‌های حدی بارش

نمایه	نام نمایه	معرفی نمایه	یکا
$Rx1day$	بیشینه بارش یک روزه	اگر RR_{ij} میزان بارش روز i در دوره j باشد، آنگاه بیشینه بارش روزانه برای دوره j عبارت است از: $Rx1dayi = \max(RR_{ij})$	میلی‌متر
$Rx5day$	بیشینه بارش ۵ روزه	اگر RR_{ij} میزان بارش ماهانه ۵ روزه در دوره j باشد، آنگاه بیشینه بارش ۵ روزه برای دوره j عبارت است از: $Rx5dayi = \max(RR_{kj})$	میلی‌متر
$R10mm$	روزهای با بارش سنگین	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه در روز i در دوره j باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلیمتر عبارت است از: $RR_{ij} = 10 \text{ mm}$ تعداد روزهایی که	روز
$R20mm$	روزهای با بارش خیلی سنگین	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه در روز i در دوره j باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلیمتر عبارت است از: $RR_{ij} = 20 \text{ mm}$ تعداد روزهایی که	روز
CDD	روزهای خشک متوالی	اگر RR_{ij} میزان بارش در روز i در دوره j باشد، آنگاه بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} = 1 \text{ mm}$ تعداد می‌شود.	روز
CWD	روزهای تر متوالی	اگر RR_{ij} میزان بارش در روز i در دوره j باشد، آنگاه بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} = 1 \text{ mm}$ تعداد می‌شود.	روز
R95p	جمع بارش روزهای خیلی تر	اگر RR_{wj} میزان بارش در دوره j در یک روز تر یعنی روزی که بارش آن مساوی یا بیشتر از یک میلیمتر باشد ($RR \geq 1.0 \text{ mm}$) و $RR_{wn} 95$ صدک ۹۵ ام بارش در روزهای تر در دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۰ و w نماینده روزهای ار در دوره باشد، آنگاه $RR_{wj} > RR_{wn} 95$ که در آن $R95_{pj} = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$	میلی‌متر

یافته‌ها

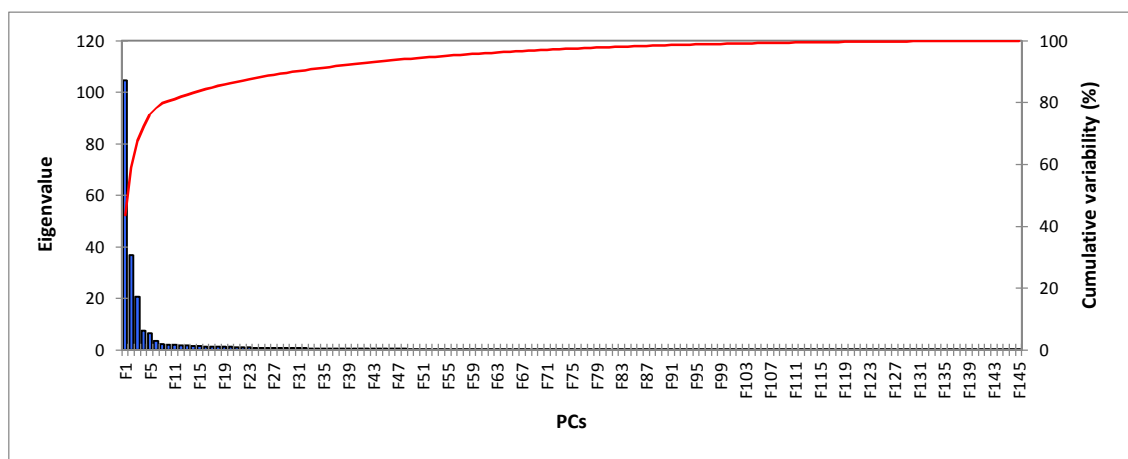
هدف از ناحیه‌بندی تعیین مناطق همگن از نظر مقدار بارش نیست و ایستگاه‌ها باید به گونه‌ای دسته‌بندی شوند که از نظر سیستم‌های آب و هوایی هم در یک دسته قرار گیرند. از این روال سه متغیر ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی هم در کنار مقادیر

بارش ماهانه و فصلی برای تعیین نواحی بارشی استفاده شد. مقدار KMO به‌دست آمده برای ماتریس نرمال شده مورد استفاده در این پژوهش برابر با ۰/۹۵ بوده که نشان‌دهنده کفایت ماتریس مورد استفاده برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. پس از اطمینان از کارایی روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای کاهش تعداد متغیرها، این روش روی ماتریس همبستگی

نشان می‌دهد که ساختار فضایی نهفته در داده‌ها به وسیله این مؤلفه‌ها قابل نمایش نیست و لازم است که مؤلفه‌ها چرخش داده شوند تا ساختار موجود در داده‌ها خود را بهتر نمایان نماید. بر این اساس، با چرخش مؤلفه‌های به‌دست آمده به روش واریماکس، واریانس توصیف شده به‌وسیله هر مؤلفه به شکل بهتری در بین مؤلفه‌ها توزیع شد.

پس از دوران مؤلفه‌ها به روش واریماکس، مؤلفه‌های اول و دوم هر کدام بیش از ۲۰ درصد از واریانس کل داده‌ها را توصیف می‌کنند و مؤلفه‌های سوم تا ششم نیز حدود ۳۱ درصد از واریانس کل را توصیف می‌کنند. بطور کلی شش مؤلفه انتخابی حدود ۷۸ درصد از واریانس کل داده‌ها را توصیف می‌کنند.

داده‌های بارش پیاده‌سازی شد و تعداد ۶ مؤلفه اول که مجموعاً ۸۷/۳ درصد از واریانس کل داده‌ها را دربر می‌گیرد، برای منطقه‌بندی بارش در کشور انتخاب شدند. مؤلفه‌های انتخاب شده سپس به روش واریماکس دوران داده شدند تا ساختار موجود در داده‌ها بهتر شناسایی شود. جدول (۳) درصد واریانس و درصد واریانس تجمعی مؤلفه‌های انتخابی را پیش و پس از دوران نشان می‌دهد. با توجه به این جدول حدود ۴۳ درصد از واریانس کل داده‌ها به‌وسیله مؤلفه نخست توصیف می‌شود و مؤلفه‌های دوم تا ششم که دارای مقادیر ویژه بالاتر از ۲ هستند (شکل ۲)، مقادیر بسیار کوچک‌تری از واریانس کل داده‌ها را در بر می‌گیرند. فاصله بسیار بزرگ بین درصد واریانس توجیه‌شده به وسیله مؤلفه نخست و دیگر مؤلفه‌ها



شکل ۲: مقادیر ویژه مؤلفه‌ها (ستون‌ها) و درصد واریانس تجمعی مؤلفه‌ها (خط قرمز)

جدول ۳: درصد واریانس و واریانس افزایشی مؤلفه‌های انتخابی پیش و پس از چرخش به شیوه واریماکس

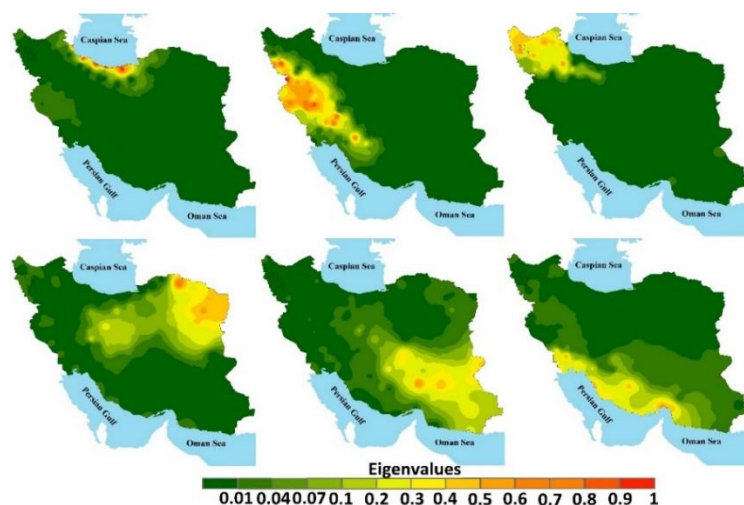
مؤلفه	چرخش به شیوه واریماکس		بدون چرخش	
	درصد واریانس افزایشی	درصد واریانس	درصد واریانس افزایشی	درصد واریانس
۱	۲۶,۶	۲۶,۶۵	۴۳,۶۱	۴۳,۶۱
۲	۴۷,۲	۲۰,۶	۵۸,۹۹	۱۵,۳۷
۳	۵۹,۴	۱۲,۱۷	۶۷,۶۵	۸,۶۵
۴	۶۸,۲	۸,۸	۷۲,۳۷	۴,۷۲
۵	۷۵	۶,۸	۷۶,۰۵	۳,۶۷
۶	۷۸,۳	۳,۳	۷۸,۳۱	۲,۲۵

ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام شد. بر این اساس هر ایستگاه به مؤلفه‌ای نسبت داده شد که بیشترین بار را بر روی آن ایستگاه دارد (رضیئی، ۱۳۹۵). از این رو

بر اساس روش چن و همکاران (۲۰۰۹) مرزبندی مناطق بارشی در ایران با استفاده از قانون بیشترین مقدار بارگویه مؤلفه‌های چرخش‌یافته بر روی

بارش سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر یک ناحیه نیمه خشک در ایران محسوب می‌شود و ناحیه جنوب غرب و سواحل خلیج فارس هم با بارش در حدود ۲۵۰ میلی‌متر، در دسته‌بندی بارشی به عنوان ناحیه نیمه خشک شناخته می‌شود. دو ناحیه شمال شرق و مرکز دامنه‌های بادپناهی و همچنین جنوب شرق و مرکز هم با بارش سالانه در حدود ۱۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر، به‌عنوان نواحی خشک و بسیار خشک ایران شناخته می‌شوند (شکل ۴). دسته بندی‌های دیگری نیز از نواحی بارشی در ایران براساس مقادیر بارش انجام شده است مانند مطالعه مسعودیان (۱۳۸۸) که نواحی بارشی ایران را به ۴ ناحیه بسیار کم بارش، کم بارش، نیمه پر بارش و پر بارش که هر ناحیه خود دارای نواحی کوچکتری است دسته بندی کرده است، و یا رضی‌کی (۱۳۹۵) ایران را بر اساس توزیع فصلی بارش به ۵ ناحیه بارشی دسته بندی کرده است.

همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۶ منطقه بارشی که در هریک از آنها تنها یک مؤلفه بیشترین مقدار بارگویه را داراست، تقسیم شدند (شکل ۲ و ۳). توزیع ماهانه بارش در مناطق مختلف ایران متفاوت است. بیشترین بارش مربوط به ناحیه کاسپین با مجموع بارش سالانه نزدیک به ۱۰۰۰ میلی‌متر و کمترین مقدار بارش مربوط به ناحیه جنوب شرق و مرکز به میزان ۱۲۱ میلی‌متر در سال است. ناحیه خزری از نظر اوروگرافیک هم شامل نواحی پست و هم مرتفع است، بطوریکه پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقطه ایران در این ناحیه قرار دارد. این ناحیه در دسته‌بندی اقلیم بارشی ایران، یک ناحیه مرطوب شناخته می‌شود. پس از ناحیه خزری، پر بارش‌ترین ناحیه ایران ناحیه غرب با مجموع بارش سالانه ۴۶۸ میلی‌متر (در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۷ و برای ایستگاه‌های مورد مطالعه) است. این ناحیه در دسته‌بندی بارشی به عنوان ناحیه نیمه مرطوب دسته بندی می‌شود. ناحیه شمال غرب با



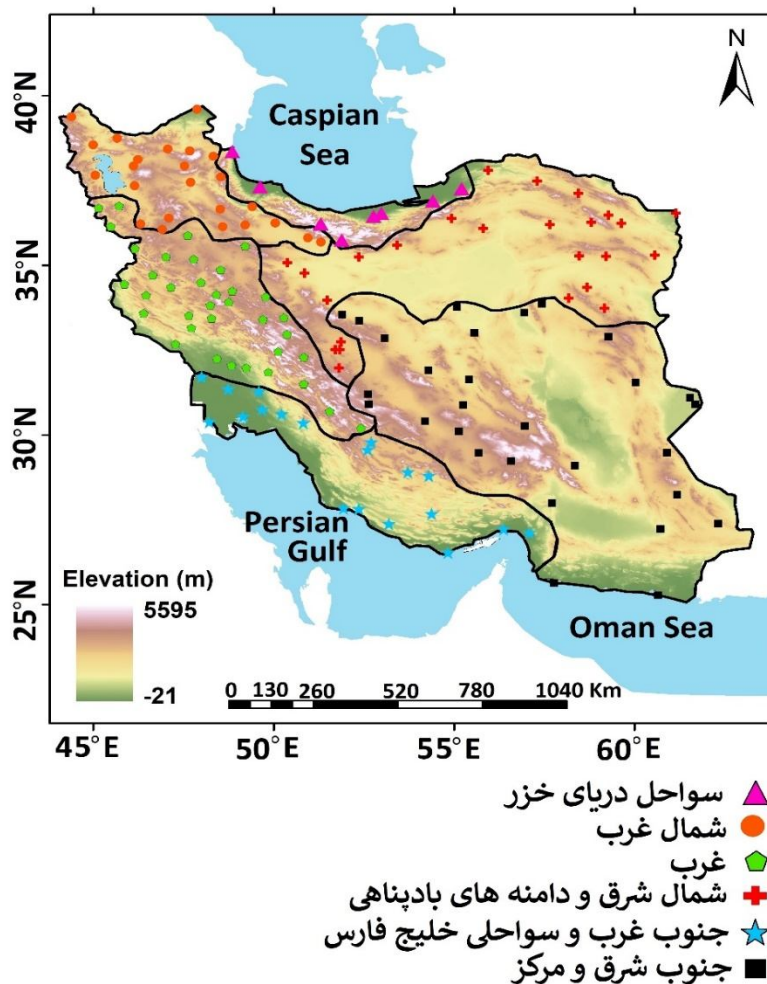
شکل ۳: نقشه مقادیر مؤلفه‌های اول تا ششم پس از دوران به شیوه واریماکس

GPM، TRMM و PERSIANN-PDIR استفاده شده است. به طور کلی برای متوسط کشور، بارش روزانه تخمین زده شده توسط پایگاه داده ERA5 دارای بالاترین ضریب همبستگی با داده‌های مشاهداتی ($r = 0.59$) است. ضریب همبستگی محاسبه شده برای پایگاه‌های GPM و TRMM به ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۳۵

بررسی کارایی پایگاه‌های داده در برآورد بارش‌های روزانه: محاسبه نمایه‌های حدی بارش بر اساس داده‌های روزانه است، بنابراین از پایگاه‌های داده با مقیاس زمانی روزانه برای ارزیابی کارایی این پایگاه‌ها برای برآورد نمایه‌های حدی بارش استفاده کرد. در این مطالعه از چهار پایگاه داده ERA5،

تخمین بارندگی روزانه در ایران، این پایگاه داده از تحلیل‌های آبی در این مطالعه کنار گذاشته شد (شکل ۵).

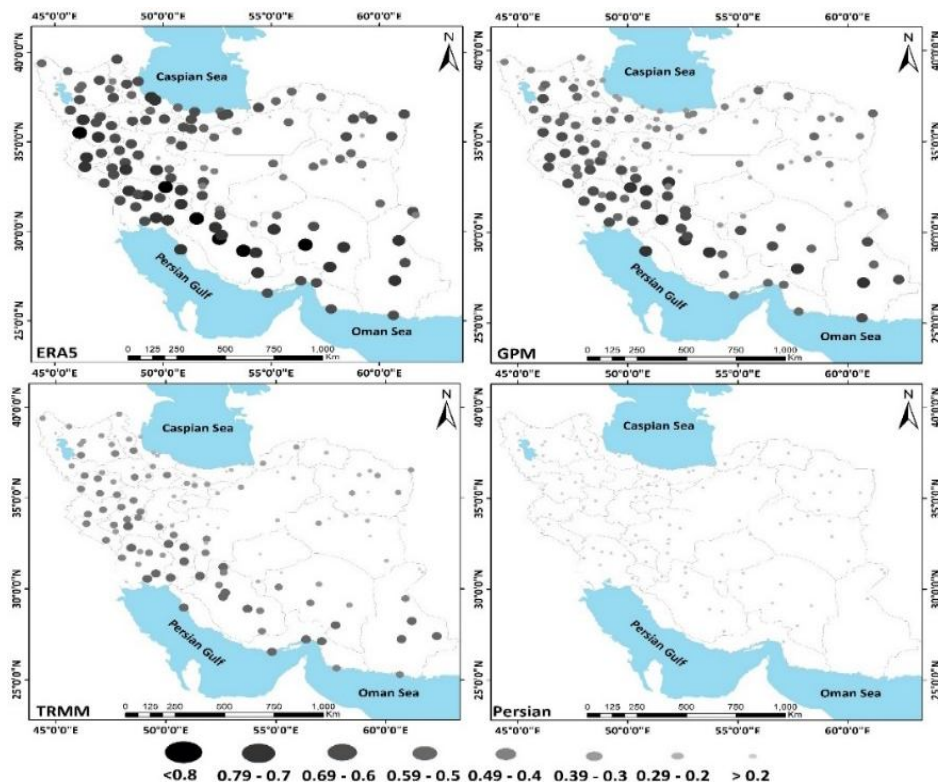
است. PERSIANN-PDIR با ضریب همبستگی ۰/۱۸ دارای کمترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی روزانه در ایران است. به دلیل دقت پایین PERSIANN در



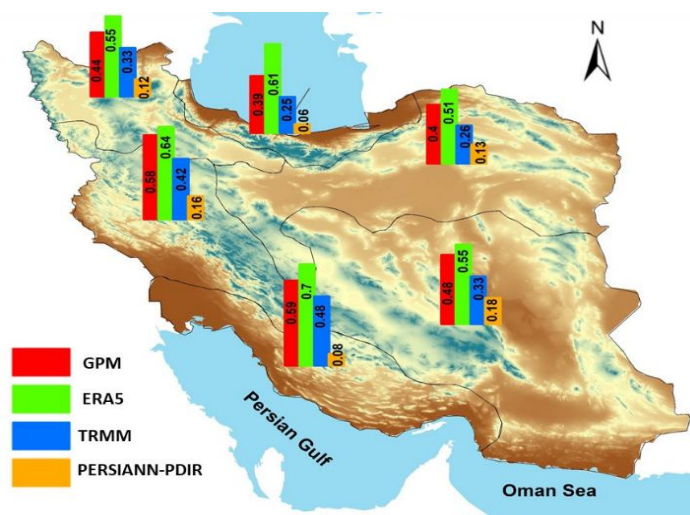
شکل ۴: مناطق بارشی ایران با استفاده از قانون بیشترین مقدار بارگویه مولفه‌های دوران یافته به شیوه واریمکس

TRMM هم دارای پایین‌ترین ضریب همبستگی است. بررسی کارایی پایگاه‌های داده در برآورد نمایه‌های حدی بارش: در ادامه، کارایی نسبی پایگاه‌های داده TRMM، ERA5 و GPM در برآورد رخدادهای حدی بارش با محاسبه سنجه‌های ارزیابی ضریب همبستگی (r) و درصد خطا (PBIAS) در شش ناحیه بارشی بررسی می‌شود (جدول ۴).

در سه پایگاه داده منتخب، بیشترین سازگاری با داده‌های مشاهداتی در مقیاس زمانی روزانه در ناحیه خلیج فارس و به دنبال آن نواحی غربی، خزری، جنوب شرقی و مرکز، شمال غرب و در نهایت شمال شرق مشاهده شد. در شکل (۶) همانطور که ملاحظه می‌شود پایگاه داده ERA5 دارای بیشترین ضریب همبستگی با داده‌های مشاهداتی در برآورد بارش روزانه در تمامی نواحی مورد بررسی است و پایگاه داده



شکل ۵: ضریب همبستگی بین بارش تخمین زده شده توسط پایگاه‌های داده مورد بررسی و داده‌های مشاهداتی در طول دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷ در ایستگاه‌های مورد مطالعه



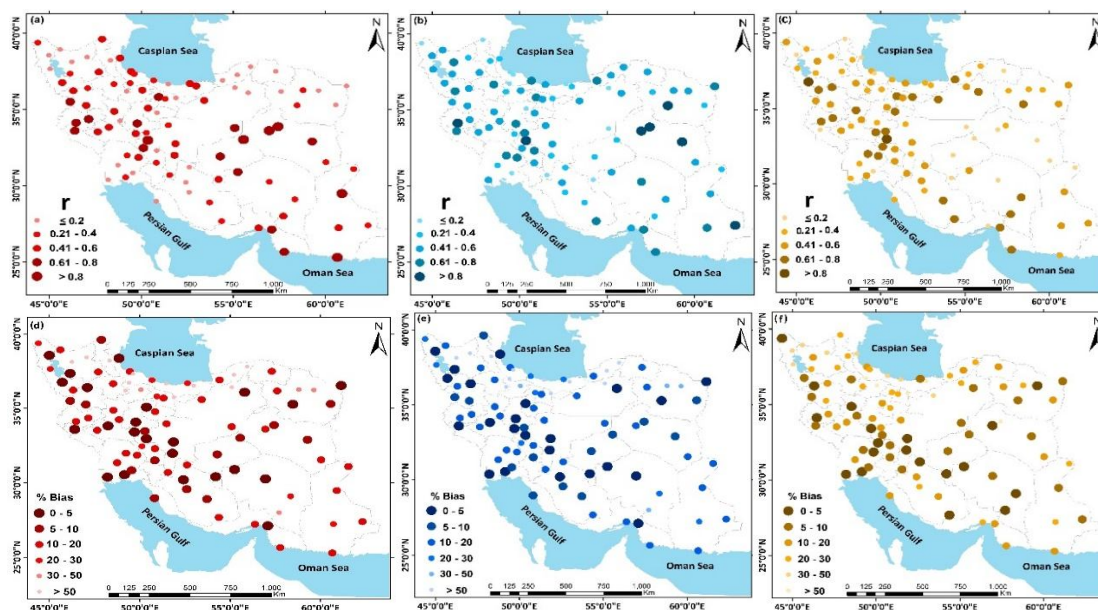
شکل ۶: ضریب همبستگی بین بارش تخمین زده شده توسط پایگاه‌های داده مورد بررسی و داده‌های مشاهداتی در طول دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷ در نواحی بارشی ۶ گانه

کلی مناسب‌تری نسبت به دو پایگاه داده دیگر در برآورد این نمایه در ایران است اما در ناحیه جنوب شرق و مرکز پایگاه داده ERA5 کارایی بالاتری در برآورد نمایه CDD داشته است. شکل (۷) توزیع

روزهای خشک متوالی (CDD) بطور کلی فراوانی این نمایه را پایگاه داده GPM در مقایسه با داده‌های مشاهداتی بهتر از دو پایگاه داده دیگر برآورد نموده است. علی‌رغم اینکه پایگاه داده GPM دارای عملکرد

سراوان (۰/۹۳) و زنجان (۰/۴۴) و در پایگاه داده TRMM مربوط به دو ایستگاه دهلران (۰/۹۱) و طبس (۰/۱۸ درصد) است (شکل ۷). در نمایه CDD در پایگاه داده های ERA5، GPM و TRMM به ترتیب ۱۵، ۱۸ و ۱۳ درصد از ایستگاه‌ها دارای همبستگی بیشتر از ۰/۷ می‌باشند.

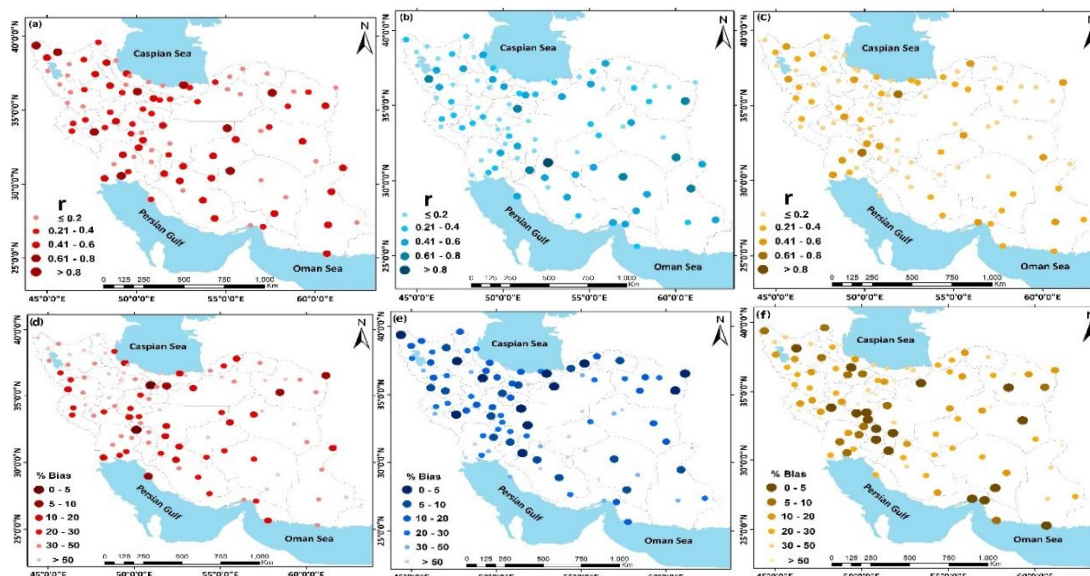
فضایی سنج‌های ضریب همبستگی و درصد خطا برای نمایه CDD و سه پایگاه داده مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر این اساس در پایگاه داده ERA5 بالاترین ضریب همبستگی در ایستگاه رباط‌پشت بادام (۰/۹۴) و کمترین خطا مربوط به ایستگاه سرخس (۰/۳۶) است. در پایگاه داده GPM، بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا مربوط به دو ایستگاه



شکل ۷: ضریب همبستگی و درصد بایاس پایگاه داده ERA5 (a, d)، GPM (b, e) و TRMM (c, f) نسبت به مقادیر مشاهداتی در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک در برآورد نمایه CDD

مورد بررسی، بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا مربوط به دو ایستگاه جاسک (۰/۸۲) و کوهرنگ (۱/۸ درصد)، در پایگاه داده GPM مربوط به دو ایستگاه آباده (۰/۷۶) و کاشان (۰/۶۵ درصد) و در نهایت در پایگاه داده TRMM مربوط به دو ایستگاه آبدلی (۰/۶۳) و گلپایگان (نزدیک به صفر) است (شکل ۸). در نمایه CWD در پایگاه داده های ERA5، GPM بطور کلی ۳ درصد از ایستگاه‌ها دارای همبستگی بالاتر از ۰/۷ هستند و در پایگاه داده TRMM هیچ ایستگاهی دارای همبستگی بالاتر ۰/۷ نیست.

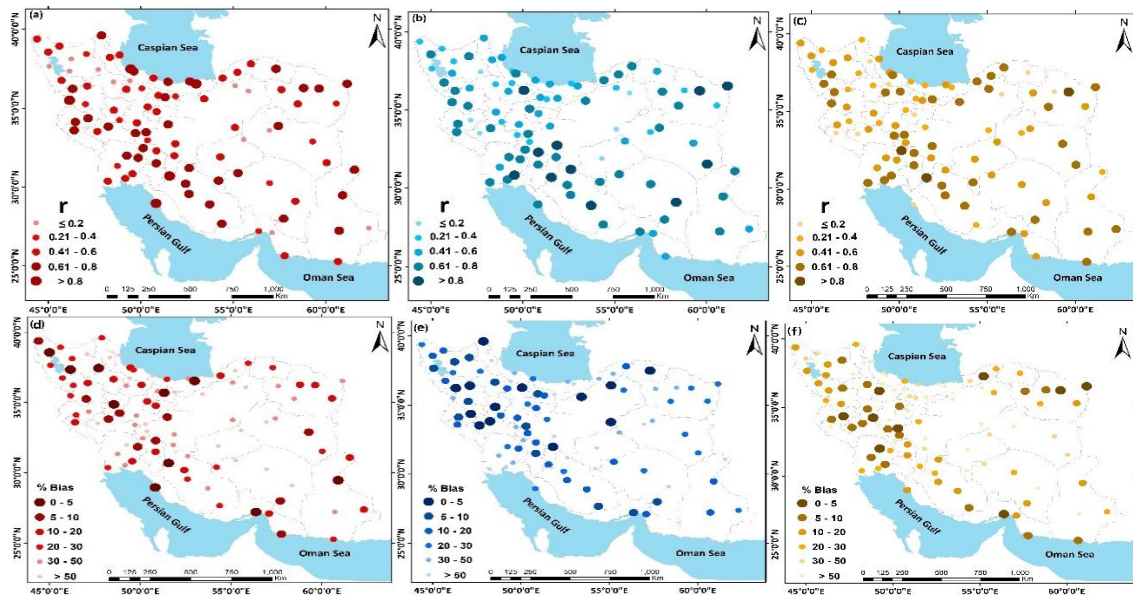
روزهای تر متوالی (CWD) پایگاه داده ERA5 در برآورد این نمایه عملکرد بهتری از دو پایگاه داده GPM و TRMM داشته است. متوسط سنج ضریب همبستگی برای سه پایگاه داده ERA5، GPM و TRMM برای متوسط ایران به ترتیب ۰/۳، ۰/۲۶ و ۰/۱۵ و متوسط درصد خطا هم به ترتیب ۴۲/۴، ۲۳/۶ و ۲۲/۹ درصد محاسبه شد. برای این نمایه بالاترین ضریب همبستگی با مقادیر مشاهده‌ای و کمترین درصد خطا برای منطقه جنوب شرقی و مرکز محاسبه شده است. در پایگاه داده ERA5 بین ۱۴۵ ایستگاه



شکل ۸: ضریب همبستگی و درصد بایاس پایگاه داده ERA5: (a, d) GPM و (b, e) TRMM و (c, f) نسبت به مقادیر مشاهده‌ای در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک در برآورد نمایه CWD

به سراوان (نزدیک به صفر)، برای نمایه R20 هم مربوط به دو ایستگاه شیراز (۰/۸۸) و سراوان (۰/۳۴) درصد) است. مقادیر این سنج‌ها برای پایگاه داده TRMM به ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۳۹ و همچنین ۴۲ و ۱۰۸ درصد برای متوسط کشور محاسبه شده است که در این میان بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا در دو ایستگاه یاسوج (۰/۸۳) و بندرعباس (نزدیک به صفر) برای نمایه R10 و لردگان (۰/۸۵) و جاسک (نزدیک به صفر) برای نمایه R20 محاسبه شد (شکل ۹ و ۱۰). علاوه بر این، در نواحی مورد مطالعه بهترین عملکرد در برآورد این دو نمایه مربوط به ناحیه جنوب غربی و خلیج فارس و پایگاه داده GPM است که بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا در آن مشاهده شد. به‌طور کلی عملکرد GPM در برآورد شاخص‌های R10 و R20 بهتر از ERA5 و TRMM بود. به‌طور کلی در نمایه R10 در پایگاه داده‌های ERA5، GPM و TRMM به ترتیب ۲۶، ۳۶ و ۱۷ درصد از ایستگاه‌ها و در نمایه R20 به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۸ درصد از ایستگاه‌ها دارای همبستگی بالاتر از ۰/۷ هستند.

روزهای با بارش سنگین و خیلی سنگین (R10 و R20) متوسط ضریب همبستگی این دو نمایه برای کشور در پایگاه داده ERA5 به‌ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۳۸ و درصد خطای آن ۳۲/۷ و ۵۰/۴ درصد است. بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا برای نمایه R10 مربوط به ایستگاه یاسوج (۰/۸۶) و بوشهر (۰/۸۴) درصد) و در نمایه R20 مربوط به دو ایستگاه کوه‌رنگ (۰/۸۹) و بوشهر (نزدیک به صفر) است. در بین نواحی بارشی هم کمترین خطا و بالاترین دقت این پایگاه داده برای برآورد دو نمایه بارش سنگین مربوط به ناحیه خزری است. لازم به توضیح است که ناحیه خزری مرطوب‌ترین منطقه در ایران است و بالا بودن درصد خطا ناشی از بالا بودن تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر در طول سال است. متوسط ضریب همبستگی پایگاه داده GPM با مقادیر مشاهده‌ای برای دو نمایه R10 و R20 به‌ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۴۳ و درصد خطا هم ۳۰ و ۵۶ درصد محاسبه شده است. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی برای نمایه R10 بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا مربوط به ایستگاه شهرکرد (۰/۸۸) و کمترین خطا هم مربوط



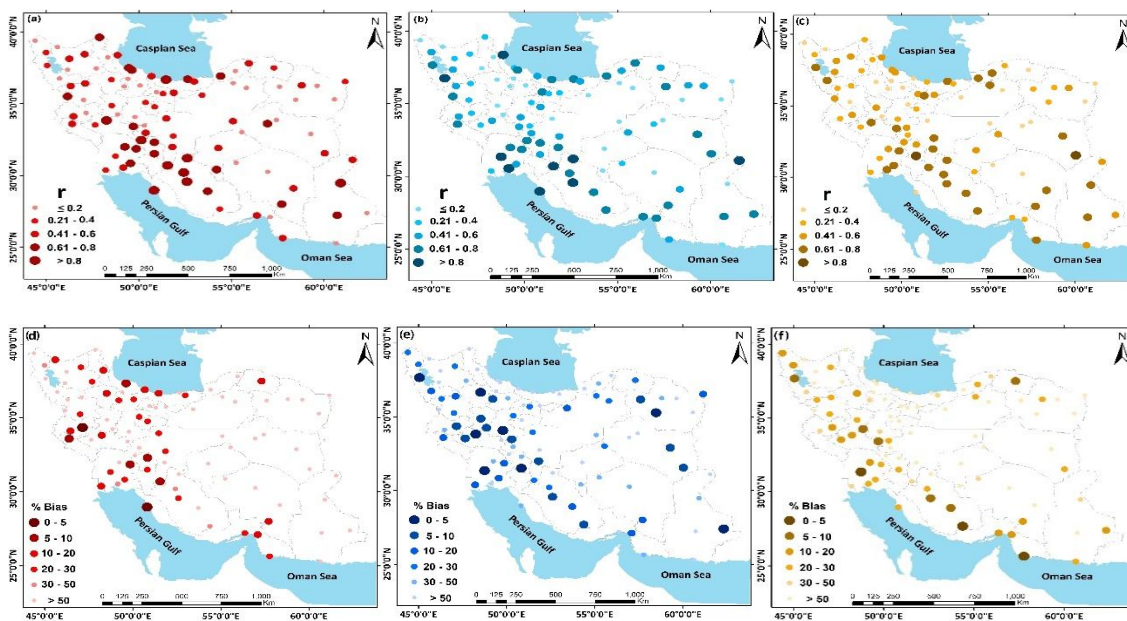
شکل ۹: ضریب همبستگی و درصد بایاس پایگاه داده ERA5 (a, d)، GPM (b, e) و TRMM (c, f)

نسبت به مقادیر مشاهداتی در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک در برآورد نمایه R10

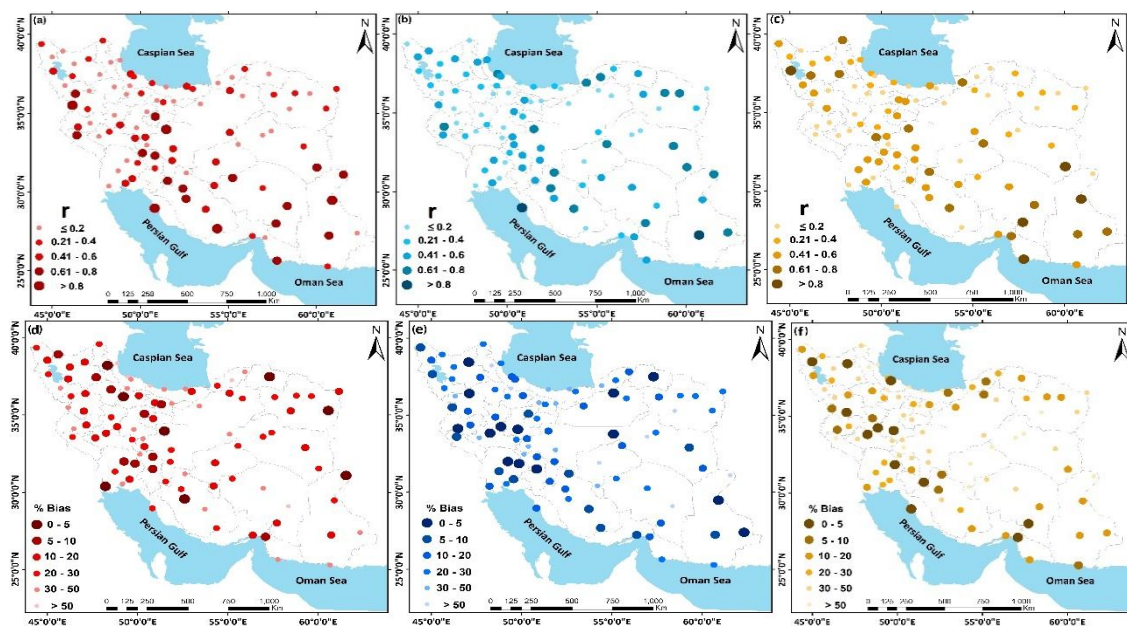
Rx1day در ایران ۰/۳۱ نمایه Rx5day هم ۰/۴۷ است. علاوه بر این میانگین درصد خطا پایگاه داده ERA5 در برآورد این دو نمایه به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۲۱ بوده و بهترین عملکرد در برآورد این دو نمایه هم مشابه دو پایگاه داده دیگر مربوط به ناحیه جنوب شرقی و مرکز است. در بین ۳ پایگاه داده مورد بررسی، بالاترین ضریب همبستگی در برآورد نمایه Rx1day در ایستگاه کاشان (۰/۸۸) و پایگاه داده ERA5 و نمایه Rx5day در ایستگاه ایرانشهر (۰/۹۶) و پایگاه داده GPM محاسبه شده است. کمترین خطا هم برای دو نمایه بالا به ترتیب در ایستگاه‌های میناب (۰/۰۴ درصد) در پایگاه داده TRMM و نهبندان (۰/۱۱ درصد) در پایگاه داده GPM محاسبه شده است (شکل ۱۱ و ۱۲). در نمایه Rx1day پایگاه‌های داده ERA5، GPM و TRMM به ترتیب ۱۴، ۶ و ۹ درصد از ایستگاه‌ها و در نمایه Rx5day به ترتیب ۲۴، ۳۱ و ۳۰ درصد از ایستگاه‌ها دارای همبستگی بالاتر از ۰/۷ هستند.

بیشینه بارش یک و پنج روزه (Rx1day و Rx5day

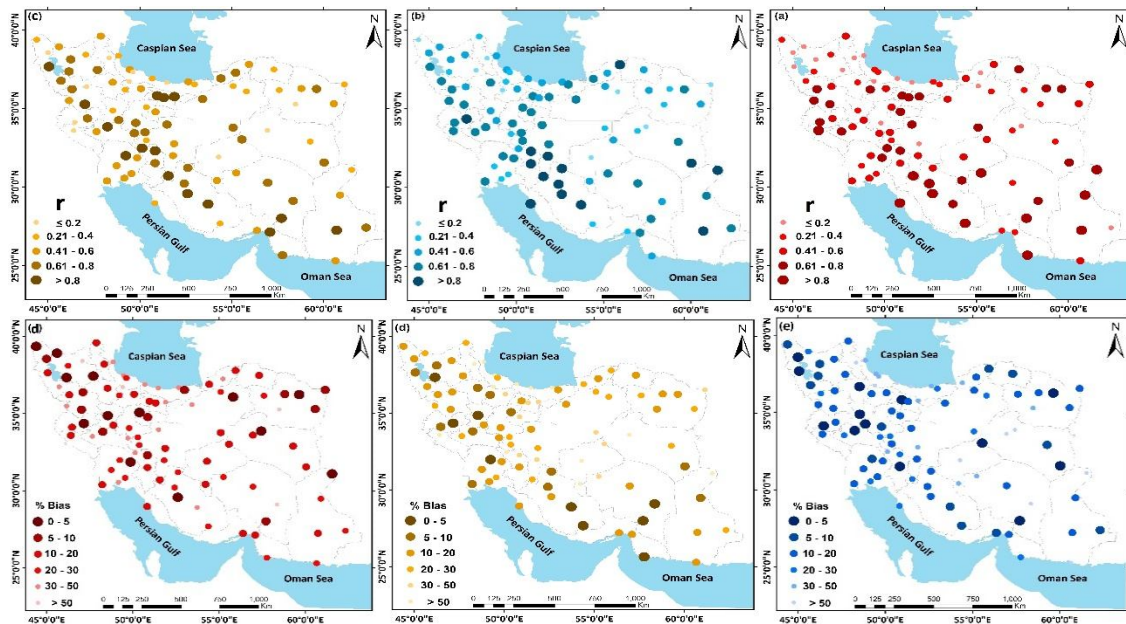
) برای برآورد این دو نمایه پایگاه داده GPM دارای بالاترین هماهنگی با مقادیر مشاهداتی است. متوسط ضریب همبستگی و درصد خطای این دو نمایه در پایگاه داده GPM به ترتیب ۰/۳۵ و ۲۲/۳۶ درصد برای نمایه Rx1day و ۰/۵۵ و ۲۱/۳۵ درصد برای نمایه Rx5day است. برای نمایه Rx1day بیشترین ضریب همبستگی در ناحیه جنوب شرقی و مرکز و برای نمایه Rx5day در غرب محاسبه شده است و کمترین درصد خطا برای هر دو شاخص هم در ناحیه شمال شرق و دامنه‌های بادپناهی محاسبه شد. میانگین ضریب همبستگی نمایه‌های Rx1day و Rx5day در پایگاه داده TRMM در ایران به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۴۹ و مقادیر درصد خطا به ترتیب ۳۰ و ۲۷ درصد محاسبه شده است. بیشترین همبستگی و کمترین خطا برای این دو شاخص در پایگاه داده TRMM در ناحیه جنوب شرقی و مرکز محاسبه شده است. میانگین ضریب همبستگی پایگاه داده ERA5 در برآورد نمایه



شکل ۱۰: ضریب همبستگی و درصد بایاس پایگاه داده ERA5، (a, d) GPM، (b, e) و (c, f) TRMM نسبت به مقادیر مشاهداتی در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک در برآورد نمایه R20



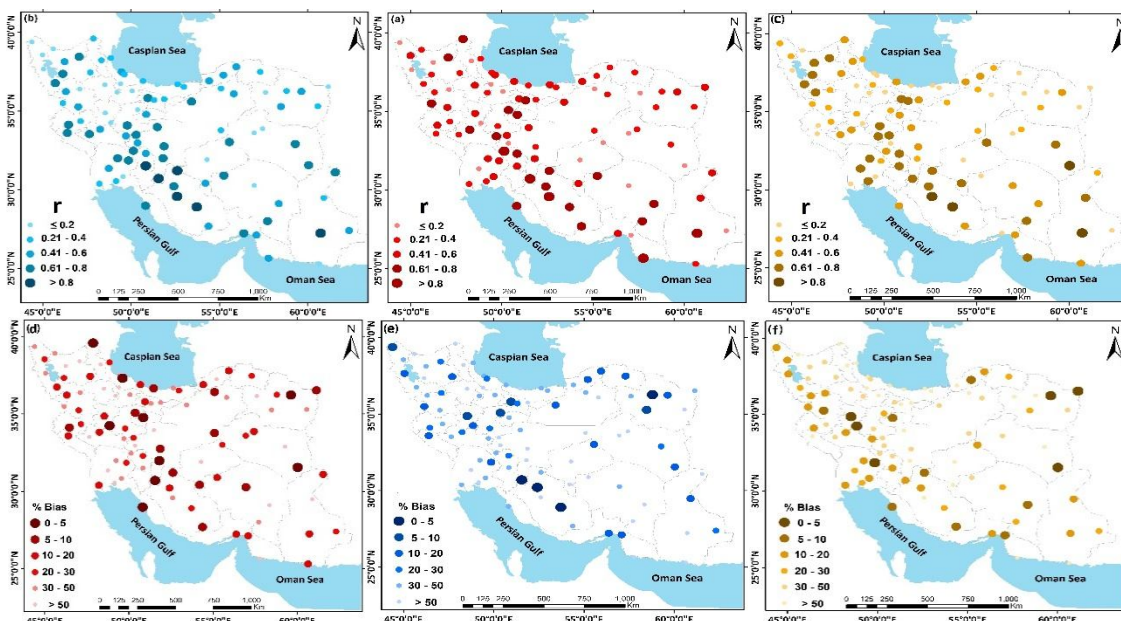
شکل ۱۱: ضریب همبستگی و درصد بایاس پایگاه داده ERA5، (a, d) GPM، (b, e) و (c, f) TRMM نسبت به مقادیر مشاهداتی در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک در برآورد نمایه Rx1day



شکل ۱۲: ضریب همبستگی و درصد بایاس پایگاه داده ERA5، (a, d)، GPM، (b, e) و TRMM، (c, f) نسبت به مقادیر مشاهداتی در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک در برآورد نمایه Rx5day

جمع بارش روزهای خیلی تر ($R95p$): مقایسه دو سنجه ضریب همبستگی و درصد خطا بین سه پایگاه داده ERA5، GPM و TRMM برای نمایه $R95p$ نشان داد که پایگاه داده GPM دارای بهترین عملکرد در برآورد این نمایه است. متوسط ضریب همبستگی محاسبه شده این نمایه برای سه پایگاه داده فوق الذکر برای کشور به ترتیب $0/4$ ، $0/42$ و $0/38$ و درصد خطای آن به ترتیب $35/6$ ، $50/6$ و $47/6$ درصد است. بر اساس پایگاه داده GPM، بالاترین دقت در برآورد نمایه جمع بارش روزهای خیلی تر مربوط به ناحیه غرب و سپس شمال غرب است و در پایگاه‌های داده ERA5 و TRMM مربوط به ناحیه جنوب غربی و خلیج فارس است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در بین پایگاه‌های داده مورد بررسی، GPM دارای بیشترین دقت در برآورد نمایه‌های حدی بارش است.

توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی برای نمایه $R95p$ نشان می‌دهد که (شکل ۱۳) بالاترین همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شده در پایگاه داده ERA5 در ایستگاه شیراز ($0/94$) و کمترین خطا هم مربوط به ایستگاه قم ($0/51$ درصد) است. در پایگاه داده GPM، بالاترین ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه شیراز ($0/91$) و کمترین خطا در ایستگاه یاسوج ($0/53$ درصد) و در پایگاه داده TRMM هم بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا مربوط به دو ایستگاه فسا ($0/87$) و ملایر ($0/63$ درصد) است. به طور کلی در نمایه $R95p$ در پایگاه داده‌های ERA5 و GPM 14 درصد و در پایگاه داده TRMM 11 درصد از ایستگاه‌ها دارای همبستگی عالی و بسیار عالی (بیشتر از $0/7$) می‌باشند.



شکل ۱۳: ضریب همبستگی و درصد بایاس پایگاه داده ERA5، (a, d) GPM، (b, e) و (c, f) TRMM

نسبت به مقادیر مشاهداتی در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک در برآورد نمایه R95p

روزانه و حدی بوده است (هو و فرانزکی، ۲۰۲۰). بر اساس یافته‌های هو و فرانزکی (۲۰۲۰)، به طور کلی داده‌های پایگاه‌های بازکاوی داده بارش در تخمین زمان بارش‌های حدی روزانه و همچنین مقدار بارش قابلیت مناسبی ندارند و این مطالعه نیز عدم قطعیت بالای این مدل‌ها یافته‌های مطالعه مذکور را برای تمامی نواحی بارشی ایران تصدیق می‌نماید.

براساس نتایج به دست آمده، می‌توان گفت که در بین پایگاه‌های مورد مطالعه، پایگاه داده GPM و پس از آن ERA5 مناسب‌ترین پایگاه‌ها در برآورد شاخص‌های حدی بارش در ایران است. پایگاه مناسب در برآورد بارش‌های حدی در مناطق مختلف هندوستان TRMM و CHIRPS است (گوپتا و همکاران، ۲۰۲۰) و در آلمان پایگاه HYRAS دارای عملکرد بهتری نسبت به E-OBS در برآورد بارش‌های

جدول ۴: متوسط درصد خطا و ضریب همبستگی پیرسون بین ۳ مجموعه داده بارش شبکه‌ای ERA5، GPM و TRMM و داده‌های مشاهداتی در برآورد نمایه‌های حدی بارش در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در نواحی بارشی مختلف در ایران

حوزه‌ها	شاخص‌های آماری	CDD	CWD	R10	R20	Rx1day	Rx5day	R95p
کاسپین	ضریب همبستگی	۰٫۲۵	۰٫۱۹	۰٫۶۱	۰٫۵۴	۰٫۲۹	۰٫۲۳	۰٫۳۸
	خطای نسبی %	۵۵٫۷	۴۹٫۸	۳۹٫۷	۴۸٫۲	۴۵	۳۴	۳۷٫۶
شمال غرب	ضریب همبستگی	۰٫۲۲	۰٫۳۶	۰٫۳۹	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۰٫۲۳	۰٫۳
	خطای نسبی %	۳۲	۶۸	۳۶	۵۰٫۴	۵۵٫۲	۵۸٫۷	۵۸٫۱
غرب	ضریب همبستگی	۰٫۴۷	۰٫۲۶	۰٫۶	۰٫۴۷	۰٫۳۴	۰٫۵۴	۰٫۴۶
	خطای نسبی %	۲۴٫۶	۴۱٫۱	۲۸٫۳	۴۲٫۲	۳۲٫۹	۳۰٫۵	۳۸٫۲
شمال شرق و دامنه‌های بادپناهی	ضریب همبستگی	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۵۲	۰٫۳۵	۰٫۳۳	۰٫۵	۰٫۳۹
	خطای نسبی %	۲۷٫۳	۴۰	۲۹٫۶	۴۸٫۳	۳۸٫۸	۳۷٫۴	۴۱٫۵
جنوب غرب و خلیج فارس	ضریب همبستگی	۰٫۱۶	۰٫۳۲	۰٫۵۳	۰٫۴۹	۰٫۴	۰٫۵۵	۰٫۴۸
	خطای نسبی %	۲۹٫۱	۲۶٫۶	۳۱٫۶	۲۵٫۱	۲۸٫۵	۳۱٫۱	۳۳
شرق و مرکز جنوب	ضریب همبستگی	۰٫۶۱	۰٫۴	۰٫۵	۰٫۳۵	۰٫۴۴	۰٫۵۸	۰٫۳۹

خطای نسبی %	CDD	R10	R20	Rx1day	Rx5day	R95p	GPM	شاخصهای آماری
۰,۳۴	۰,۲۹	۰,۵۳	۰,۵۸	۰,۳۵	۰,۵۵	۰,۳۴	کاسپین	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۳۲,۷	۴۹,۱	۵۹	۳۴,۶	۳۷,۶	۳۹		خطای نسبی %
۰,۴۴	۰,۲۲	۰,۴۴	۰,۲۸	۰,۲۷	۰,۴۴	۰,۵۵	شمال غرب	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۲۲	۴۴,۷	۶۵,۸	۳۶,۲	۲۸,۶	۳۰,۳		خطای نسبی %
۰,۶	۰,۲۱	۰,۵۹	۰,۴۹	۰,۳۷	۰,۶۷	۰,۵۵	غرب	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۱۹,۵	۳۷,۴	۲۱,۳	۳۴	۳۳,۸	۲۹,۳		خطای نسبی %
۰,۴۳	۰,۲۴	۰,۵۸	۰,۳۳	۰,۳۶	۰,۵۶	۰,۴۴	شمال شرق و دامنه‌های بادپناهی	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۲۰,۲	۴۳	۴۳,۵	۲۰,۹	۲۶	۳۴		خطای نسبی %
۰,۲۴	۰,۲۷	۰,۷۱	۰,۷	۰,۴۳	۰,۵	۰,۵۲	جنوب غرب و خلیج فارس	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۲۳,۸	۳۷,۰۷	۲۵,۷	۳۳	۳۵,۳	۴۴,۱		خطای نسبی %
۰,۴۸	۰,۴۱	۰,۴۴	۰,۳۷	۰,۵۲	۰,۵	۰,۳۹	شرق و مرکز جنوب	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۲۳,۴	۴۲,۴	۵۵,۶	۲۸,۵	۳۲,۴	۶۶,۴		خطای نسبی %
خطای نسبی %	CDD	R10	R20	Rx1day	Rx5day	R95p	TRMM	شاخصهای آماری
۰,۳۳	۰,۲	۰,۴۹	۰,۵	۰,۲۶	۰,۳۹	۰,۲۵	کاسپین	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۳۱,۷	۴۲,۶	۴۰,۶	۲۹	۳۷,۱	۴۶		خطای نسبی %
۰,۳۷	۰,۱۸	۰,۴	۰,۳۲	۰,۳۵	۰,۴۴	۰,۳۷	شمال غرب	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۳۱,۸	۵۳,۶	۴۸	۵۷,۶	۳۷,۲	۴۷		خطای نسبی %
۰,۵۷	۰,۲۴	۰,۵۱	۰,۴۲	۰,۲۹	۰,۵۸	۰,۴۱	غرب	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۱۹	۴۵	۳۵,۳	۳۲	۳۹	۳۵,۵		خطای نسبی %
۰,۴۵	۰,۲۲	۰,۴۶	۰,۲۷	۰,۲۹	۰,۴۱	۰,۲۹	شمال شرق و دامنه‌های بادپناهی	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۲۷,۳	۵۰,۳	۳۲,۲	۲۸,۱	۳۲,۶	۴۹		خطای نسبی %
۰,۳۲	۰,۲۲	۰,۵۴	۰,۴۷	۰,۳۶	۰,۵۵	۰,۴۵	جنوب غرب و خلیج فارس	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۳۲,۱	۴۷,۲	۴۵	۵۰,۳	۳۳,۵	۳۶,۶		خطای نسبی %
۰,۲۷	۰,۲۶	۰,۵۶	۰,۴۲	۰,۵	۰,۵۳	۰,۴۴	جنوب شرق و مرکز	ضریب همبستگی
خطای نسبی %	۱۱,۵	۳۷,۷	۴۸	۵۸	۳۹,۱	۳۵,۵		خطای نسبی %

نتیجه‌گیری

دارای بهترین عملکرد در برآورد بارش‌های روزانه در ایران است. هرچند که مشابه یافته‌های تیمرنز و همکاران (۲۰۱۹) که پیشنهاد داده است که در استفاده از داده‌های پایگاه‌های شبکه‌بندی بارش برای تخمین بارش‌های روزانه باید احتیاط نمود، نتایج این مطالعه نشان داد که ۴ پایگاه داده مورد بررسی فاقد عملکرد بسیار مطلوبی برای تخمین بارش روزانه در ایران هستند.

برآورد شاخص‌های حدی بارش در ایران نشان داد که پایگاه GPM دارای مناسب‌ترین عملکرد در برآورد نمایه CDD در ایران بود و در بین مناطق بارشی مورد مطالعه نیز بیشترین هماهنگی بین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده مربوط به نواحی غرب و

در این مطالعه کارایی پایگاه‌های داده بارش در برآورد نمایه‌های حدی در ۶ ناحیه بارشی در کشور شامل ناحیه خزری به‌عنوان یک ناحیه مرطوب، ناحیه غربی به‌عنوان یک ناحیه نیمه مرطوب، نواحی شمال غرب و همچنین جنوب غرب و سواحل خلیج فارس به‌عنوان دو ناحیه نیمه خشک اما با رژیم‌های بارش متفاوت، ناحیه شمال شرق و دامنه‌های بادپناهی به‌عنوان یک ناحیه خشک و در نهایت جنوب شرق به‌عنوان یک ناحیه بسیار خشک بررسی شد. نتایج بررسی کارایی پایگاه‌های GPM، ERA5، TRMM و PERSIANN-PDIR در بارش‌های روزانه در ایران نشان داد که به‌ترتیب پایگاه داده ERA5

قطعیّت بالای این مدل‌ها یافته‌های مطالعه مذکور را برای تمامی نواحی بارشی ایران تصدیق می‌نماید. درواقع، به طور کلی در ایران می‌توان گفت که در بین پایگاه‌های مورد مطالعه، پایگاه داده GPM و پس از آن ERA5 مناسب‌ترین پایگاه‌ها در برآورد شاخص‌های حدی بارش است. در برخی ایستگاه‌ها نیز دقت بالایی در برآورد نمایه‌های حدی بارش با ضریب همبستگی‌های بسیارعالی بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شده و درصد خطاهای بسیار کم مشاهده می‌شود اما میانگین ضریب همبستگی تمام ایستگاه‌ها مقادیر قابل قبولی را نشان نمی‌دهند و تنها درصد کمی از ایستگاه‌ها در هر نمایه و پایگاه داده دارای همبستگی عالی با داده‌های مشاهداتی می‌باشند که این به معنی عدم قطعیت بالای این مدل‌ها و ناتوانی در تخمین دقیق زمان و مقدار بارش‌های حدی روزانه می‌باشد.

همچنین جنوب شرق و مرکز بود. مناسب‌ترین پایگاه برای برآورد نمایه CWD، پایگاه ERA5 است و در تمامی پایگاه‌های مورد مطالعه منطقه جنوب شرق و مرکز دارای بیشترین ضریب همبستگی با داده‌های مشاهداتی بود. برای نمایه‌های (mm).R10 (mm).R20، Rx5day، Rx1day، r95p پایگاه داده GPM دارای عملکرد مناسب تری نسبت به دو پایگاه ERA5 و TRMM بوده است، هرچند به تفکیک نواحی بارشی، این پایگاه در کلیه نواحی مناسب نبوده و در هر ناحیه پایگاه متفاوتی دارای عملکرد مطلوب در برآورد این نمایه‌ها بوده است.

مشابه یافته‌های هو و فرانزکی (2020)، به طور کلی داده‌های پایگاه‌های بازکاوی داده بارش در تخمین زمان بارش‌های حدی روزانه و همچنین مقدار بارش قابلیت مناسبی ندارند و این مطالعه نیز عدم

منابع

1. مجتبی رحیمی، مرتضی میری، علی اکبر نوروزی (۱۳۹۷). ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۴، شماره ۱۱.
2. اکبر رحمتی وعلیرضا مساح بوانی (۱۳۹۸). ارزیابی مقایسه‌ای پایگاه‌های داده جهانی بارش با مقادیر بارش مشاهداتی، مطالعه موردی: حوزه آبریز کارون. تحقیقات منابع آب ایران سال پانزدهم، شمار ۱.
3. طیب رضیئی (۱۳۹۵). شناسایی مناطق همگن بارشی ایران با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۰، شماره ۳.
4. احمد عسگری، فاطمه رحیم‌زاده، ابراهیم فتاحی، نوشین محمدیان (۱۳۸۶). تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران. تحقیقات منابع آب ایران سال سوم، شماره ۳.
5. سید ابوالفضل مسعودیان (۱۳۸۸). نواحی بارشی ایران. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳.
6. Ahmed, K., Shahid, S., Wang, X., Nawaz, N., and Khan, N. (2019). Evaluation of gridded precipitation datasets over arid regions of Pakistan. *Water*, 11(2): 210.
7. Alijanian, M., Rakhshandehroo, G.R., Mishra, A.K., and Dehghani, M. (2017). Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran. *Int. J. Climatol.*, 37(14): 4896-4914.
8. Alizadeh-Chooabari, O., Adibi, P., and Irannejad, P. (2018). Impact of the El Niño–Southern Oscillation on the climate of Iran using ERA-Interim data. *Clim. Dyn.*, 51(7): 2897-2911.
9. Blacutt, L.A., Herdies, D.L., De Gonçalves, L.G.G., Vila, D.A., and Andrade, M. (2015). Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and Combined Scheme datasets in Bolivia. *Atmospheric Research*, 163: 117-131.
10. Chen, L.J., Chen, D.L., Wang, H.J., Yan, J. H. (2009). Regionalization of precipitation regimes in China: Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2(5): 301-307.
11. Collins, B., Ramezani Etedali, H., Tavakol, A., and Kaviani, A. (2021). Spatiotemporal variations of evapotranspiration and reference crop water requirement over 1957–2016 in Iran based on CRU TS gridded dataset. *Journal of Arid Land*, 13(8): 858-878.
12. Colston, J.M., Ahmed, T., Mahopo, C., Kang, G., Kosek, M., de Sousa Junior, F., ... and The, M.E. (2018). Evaluating meteorological data from weather stations, and from satellites and global models for a

- semiarid region. Theoretical and applied climatology, 123(1-2): 387-398.
23. Katsanos, D. et al., 2016. Analysis of precipitation extremes based on satellite (CHIRPS) and in situ dataset over Cyprus. Nat. Hazards 83 (1): 53-63.
 24. Khan, N., Shahid, S., Ismail, T., Ahmed, K., and Nawaz, N. (2019). Trends in heat wave related indices in Pakistan. Stochastic environmental research and risk assessment, 33(1): 287-302.
 25. Kiany, M.S.K., Masoodian, S.A., Balling Jr, R.C., and Montazeri, M. (2020). Evaluation of the TRMM 3B42 product for extreme precipitation analysis over southwestern Iran. Advances in Space Research, 66(9): 2094-2112.
 26. Nguyen, P., Ombadi, M., Goroooh, V.A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., ... and Ralph, M.F. (2020). PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate (PDIR-Now): A Near-Real-Time, Quasi-Global Satellite Precipitation Dataset. Journal of hydrometeorology, 21(12): 2893-2906.
 27. Nikolopoulos, E.I., Anagnostou, E.N., and Borga, M. (2013). Using high-resolution satellite rainfall products to simulate a major flash flood event in northern Italy. Journal of Hydrometeorology, 14(1): 171-185.
 28. Sheskin, D. 2007. Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures: Chapman & Hall/CRC, 1736 pp.
 29. 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.
 30. Tian, Y., Peters-Lidard, C.D., Choudhury, B. J., and Garcia, M. (2007). Multitemporal analysis of TRMM-based satellite precipitation products for land data assimilation applications. Journal of Hydrometeorology, 8(6): 1165-1183.
 31. Wang, G., Zhang, X., and Zhang, S. (2019). Performance of three reanalysis precipitation datasets over the qinling-daba Mountains, eastern fringe of tibetan plateau, China. Advances in Meteorology.
 32. Xia, X. H., Wu, Q., Mou, X.L., and Lai, Y.J. (2015). Potential impacts of climate change on the water quality of different water bodies. J. Environ. Inform, 25(2): 85-98.
 33. Yang, Y., Wang, G., Wang, L., Yu, J., and Xu, Z. (2014). Evaluation of gridded precipitation data for driving SWAT model in area upstream of three gorges reservoir. PLoS One, 9(11): e112725.
 - multi-site epidemiological study. Environmental research, 165: 91-109.
 13. Dahri, Z.H., Ludwig, F., Moors, E., Ahmad, S., Ahmad, B., Shoaib, M., ... and Kabat, P. (2021). Spatio-temporal evaluation of gridded precipitation products for the high-altitude Indus basin. International Journal of Climatology.
 14. Darand, M., and Khandu, K. (2020). Statistical evaluation of gridded precipitation datasets using rain gauge observations over Iran. Journal of Arid Environments, 178: 104172.
 15. Fallah, A., Rakhshandehroo, G.R., Berg, P., O.S., and Orth, R. (2020). Evaluation of precipitation datasets against local observations in southwestern Iran. International Journal of Climatology, 40(9): 4102-4116.
 16. Gupta, V., Jain, M.K., Singh, P.K., and Singh, V. (2020). An assessment of global satellite-based precipitation datasets in capturing precipitation extremes: A comparison with observed precipitation dataset in India. International Journal of Climatology, 40(8): 3667-3688.
 17. Hamal, K., Khadka, N., Rai, S., Joshi, B.B., Dotel, J., Khadka, L., ... and Shrestha, D. (2020). Evaluation of the TRMM Product for Spatio-temporal Characteristics of Precipitation over Nepal (1998-2018). Journal of Institute of Science and Technology, 25(2): 39-48.
 18. Hersbach, H. et al. (2020). The ERA5 Global Reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146: 1999-2049.
 19. Hu, G., and Franzke, C.L. (2020). Evaluation of daily precipitation extremes in reanalysis and gridded observation-based data sets over Germany. Geophysical Research Letters, 47(18): e2020GL089624.
 20. Hu, Z., Zhou, Q., Chen, X., Li, J., Li, Q., Chen, D., ... 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.
 21. Huffman, G. J. (2016). The transition in multi-satellite products from TRMM to GPM (TMPA to IMERG). NASA Goddard Space Flight Center and Science Systems and Applications. 27th august.
 22. Katiraie-Boroujerdy, P.S., Nasrollahi, N., Hsu, K.L., and Sorooshian, S. (2016). Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a

temperature and precipitation data. Wiley
Interdisciplinary Reviews: Climate
Change, 2(6): 851-870.

34. Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C.,
Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C., ... and
Zwiers, F.W. (2011). Indices for monitoring
changes in extremes based on daily