

Performance Evaluation of TRMM-3B43-V7 and PERSIANN-CDR Monthly Precipitation Products in Different Climatic Regions of Iran

N. Nozarpour¹, E. Mahjoobi^{2*}, and S. Golian³

Abstract

Awareness of the spatial and temporal distribution of precipitation around the world is useful for improving climate awareness and modifying climate forecasting models. However, determining the precipitation distribution is a complex task due to the lack of a single estimator with sufficient coverage and accuracy. In this study, the performance of TRMM-3B43-V7 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products on a monthly scale and in different climatic regions in Iran were evaluated. For this purpose, measured rainfall data were used in 81 synoptic stations located in the whole country of Iran in the period from 2008 to 2019. To more accurately evaluate the efficiency of the two products, the values of the statistical indices of correlation coefficient, root mean square error, efficiency factor and false alarm ratio in the position of all synoptic stations were calculated and analyzed. The results showed that in general, TRMM has a significant advantage over PERSIANN-CDR in all statistical indicators. However, the performance of both products in rainy areas was associated with more errors. With the exception of moderate and humid regions, both products estimated more rainfall in the rest of the climatic Regions. This difference in rainfall estimates is greater in arid and semi-arid areas than in other areas.

Keywords: Precipitation, Remote Sensing, Satellite Precipitation Products, Iran, Climatic Regions.

Received: December 13, 2021

Accepted: May 25, 2022

ارزیابی عملکرد محصولات بارش ماهانه TRMM-3B43-V7 و PERSIANN-CDR در نواحی اقلیمی مختلف ایران

نازنین نودزپور^۱، عماد محجوبی^{۲*} و سعید گلیان^۳

چکیده

آگاهی از توزیع مکانی و زمانی بارش در سراسر جهان برای بهبود شناخت اقلیم و اصلاح مدل‌های پیش‌بینی اقلیم و هوا سودمند است. البته تعیین توزیع بارش به دلیل فقدان یک برآوردکننده واحد با پوشش و دقت کافی کار پیچیده‌ای است. در این پژوهش عملکرد محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM-3B43-V7 و PERSIANN-CDR در مقیاس ماهانه و در نواحی اقلیمی مختلف در پهنه ایران مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور از داده‌های اندازه‌گیری شده بارندگی در ۸۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در کل کشور ایران در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. برای بررسی دقیق‌تر میزان کارایی دو محصول، مقادیر شاخص‌های آماری ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی و نسبت هشدار اشتباه، در موقعیت تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک محاسبه و تجزیه و تحلیل شد. نتایج حاکی از آن است که به طور کلی TRMM در کلیه شاخص‌های آماری برتری قابل توجهی نسبت به PERSIANN-CDR دارد. البته عملکرد هر دو محصول در مناطق پر بارش با خطای بیشتری همراه است. ضمن اینکه به غیر از نواحی معتدل و مرطوب، هر دو محصول مقدار بارش را در باقی نواحی اقلیمی بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. این اختلاف برآورد بارش در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی بیشتر از سایر مناطق است.

کلمات کلیدی: بارش، سنجش‌ازدور، محصولات بارش ماهواره‌ای، ایران، نواحی اقلیمی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۹/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۳/۴

1- M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: nazanin.nozarpour1993@gmail.com

2- Assistant Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: emahjoobi@shahroodut.ac.ir

3- Senior Post-Doctoral Researcher, Department of Geography, Irish Climate Analysis and Research Units, Maynooth University, Ireland. Email: saeed.golian@mu.ie

*. Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1401.18.1.14.2](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1401.18.1.14.2)

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲- استادیار گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳- پژوهشگر ارشد پسا دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه ملی ایرلند.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۱ امکانپذیر است.



بارندگی یک متغیر مهم برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی است (Golian et al., 2019). بارش یکی از مهم‌ترین پارامترها در چرخه هیدرولوژی است که تغییرات زمانی و مکانی این پارامتر و همچنین تأثیرگذاری زیاد آن بر محیط‌زیست طبیعی و انسانی سبب توجه ویژه به این پارامتر در مطالعات مختلف اقلیمی، هواشناسی، هیدرولوژی، محیطی و غیره شده است. از طرف دیگر، تأثیرگذاری مستقیم این عنصر جوی بر دسترس بودن آب شیرین و همچنین پیامدهای ناشی از شدت آن همچون طوفان، کولاک، سیل، خشکسالی و رانش زمین بر اهمیت این پدیده بیش‌از پیش افزوده است (Sadeghi et al., 2019). محققان به سختی می‌توانند شبیه‌سازی درستی از چرخه آب، بدون مقادیر صحیح بارش داشته باشند (Xue et al., 2013). اندازه‌گیری دقیق بارش یا تخمین آن در مدیریت منابع آب، پیش‌بینی آب و هوا، کنترل خطر و غیره حیاتی است (Hou et al., 2014). شناخت ویژگی‌های بارش در یک منطقه به پراکنش ایستگاه‌ها مربوط است و در مناطق بیابانی، کوه‌ها، اقیانوس‌ها و مناطق وسیع با جمعیت کم، بسیار سخت و نیازمند صرف هزینه زیاد است (Bosilovich et al., 2008). داده‌های گمشده فراوان در ایستگاه‌های هواشناسی، به‌روز نبودن متغیرهای مختلف آب و هوایی مانند دما و بارش و تراکم فضایی نامناسب ایستگاه‌ها از جمله مشکلاتی است که پژوهشگران در بخش‌های بزرگی از جهان به‌ویژه کشورهای کمتر توسعه‌یافته، مناطق کوهستانی و بیابانی با آن مواجه هستند (Miri et al., 2016). با توجه به پیشرفت روزافزون علوم، نیاز به استفاده از فناوری‌های جدید در پیش‌بینی‌ها و تعیین الگوهای دقیق به خصوص در زمینه کنترل و مدیریت منابع آب به ویژه با توجه به گرم شدن کره زمین بیشتر احساس می‌شود. از این رو در برخی مناطق به دلیل دشواری در تعیین و اندازه‌گیری میزان بارش باید روش‌هایی جایگزین روش‌های ایستگاهی شوند.

در حال حاضر، تنها راه عملی برای رسیدن به یک الگوی جامع از بارش در سطح جهانی استفاده از ماهواره‌هایی است که امکان دسترسی به مشاهدات جامعی را فراهم می‌آورند (Hong et al., 2012). محصولات بارشی مبتنی بر تکنیک‌های سنجش‌ازدور امکان دسترسی به داده‌های با گام‌های زمانی و مکانی مختلف را در کمترین زمان ممکن و بدون هیچ هزینه‌ای میسر می‌سازند. از مهم‌ترین محصولات بارشی ماهواره‌ای که از توان تفکیک مکانی و زمانی مناسبی برخوردار هستند می‌توان به محصولات TRMM و PERSIANN-CDR اشاره کرد. در سال‌های اخیر تحقیقات مختلفی در زمینه ارزیابی این محصولات در پهنه ایران و سایر کشورها انجام شده است. Erfanian

et al. (2014) به ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های بارش ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که حداکثر مقدار بارندگی TRMM در بیشتر ماه‌های سال در شمال شرقی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است؛ در صورتی که در ماه‌های گرم سال توزیع مکانی حداکثر بارندگی کاملاً متغیر است. (Miri et al., 2016) با ارزیابی و ویرایش هفتم الگوریتم 3B43 ماهواره TRMM و محصول GPCC در مقیاس ماهانه برای دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ در سطح کشور ایران به این نتیجه رسیدند که هر دو محصول در بیشتر ایستگاه‌ها از دقت خوبی برخوردار بوده و بیشترین میزان ضریب همبستگی در مناطق شمال شرق، غرب و شمال غرب ایران به واسطه تراکم زیاد ایستگاه‌های باران‌سنجی دیده می‌شود. (Zanganeh et al., 2018) با مقایسه محصولات بارش ساعتی و روزانه ماهواره‌های PERSIANN و CMORPH در دوره زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ در حوضه آبریز شاپور نشان دادند که PERSIANN و CMORPH در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کافی ندارند و همبستگی داده‌های مشاهده‌ای در مقیاس ساعتی با CMORPH بیشتر از PERSIANN است. با این وجود PERSIANN در تشخیص تعداد روزهای بارانی نتایج بهتری را ارائه می‌کند. (Khalighi-Sigaroodi et al., 2019) با مقایسه محصولات بارش ماهانه و ویرایش هفتم الگوریتم 3B42 ماهواره TRMM و محصول PERSIANN-CDR با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در دامنه‌های جنوبی البرز در بازه زمانی ۱۵ ساله نشان دادند که بین محصولات بارش ماهواره‌ای و داده‌های بارش اندازه‌گیری شده در سطح زمین همبستگی کمی وجود دارد. کمترین و بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب از ۰/۲۲ تا ۰/۴۲ برای TRMM و از ۰/۰۵ تا ۰/۲۸ برای PERSIANN-CDR است. (Liu et al., 2019) شش محصول بارش روزانه ماهواره‌ای PERSIANN، PERSIANN-CDR، و ویرایش هفتم الگوریتم 3B42 ماهواره TRMM، نسخه خام CMORPH و نسخه CMORPH-CRT را در یک منطقه نیمه‌خشک و نیمه مرطوب (حوضه رودخانه وی) در چین از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که محصولات بارش PERSIANN-CDR، TRMM-3B42-V7 و CMORPH-CRT مطابقت بهتری با داده‌های بارش واقعی دارند. (Rahmati and Bavani, 2019) با مقایسه داده‌های روزانه چهار پایگاه داده TRMM 3B42، PERSIANN، PERSIANN-CDR، APHRODITE، ERA-INTERIM و CHIRPS V2.0 در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ در حوضه آبریز کارون نشان دادند که با توجه به شاخص‌های آماری، دو پایگاه داده APHRODITE و ERA-INTERIM در همه ارزیابی‌ها از دقت مناسبی برخوردار بودند. ولی در تشخیص عدم وقوع باران

ایران را نشان می‌دهد. دریاهای شمال و جنوب که از نواحی مرکزی فاصله دارند و همچنین کوههایی که دورتادور کشور را پوشانده‌اند، ایران را با انواع مختلف آب و هوا در ریف کشورهای نادر جهان قرار داده است. وجود کوه‌های البرز در شمال و کوه‌های زاگرس در غرب کشور باعث شده که نواحی داخلی ایران دارای آب و هوای خشک و بیابانی باشد. میانگین سالانه بارش ایران نزدیک به ۲۵۰ میلی‌متر است؛ اما بارش دریافتی مناطق کویری از ۵۰ میلی‌متر هم کمتر است. در عوض در برخی نقاط کرانه‌های غربی خزر بارش سالانه نزدیک به ۱۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. مقدار بارش ۲۵۰ میلی‌متر تقریباً مرز میان مناطق کم بارش و پر بارش ایران را تشکیل می‌دهد. از آنجا که ۶۰ درصد مساحت کشور کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر بارش دریافت می‌کند و در مقابل تنها ۴ درصد سطح کشور بیش از ۶۰۰ میلی‌متر بارش دارد، توزیع نابرابر بارش‌ها بر روی کشور کاملاً مشهود است (Masoudian et al., 2011).

در بین محصولات بارش برآوردی ماهواره-پایه با تفکیک بالا، الگوریتم PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks) به دلیل استفاده از اطلاعات مادون قرمز که سابقه داده‌های آن به قبل از سال ۱۹۹۷ برمی‌گردد، بهترین سیستم برای برآورد بارش‌های تاریخی در طول سه دهه گذشته می‌باشد. برای تولید داده‌های مذکور، ابتدا مدل PERSIANN با به‌کارگیری داده‌های بارش ساعتی مراکز ملی پیش‌بینی محیط‌زیست به روش شبکه عصبی آموزش داده می‌شود. با حفظ پارامترهای مرحله آموزش، مدل برای کل دوره‌ای که داده‌های مادون قرمز در دسترس هستند، اجرا می‌شود. با حفظ الگوهای مکانی و زمانی بارش PERSIANN، ارزیابی آن‌ها توسط داده‌های بارش ماهانه پروژه اقلیم‌شناسی بارش جهانی حذف می‌شود. داده‌های حاصل PERSIANN-CDR (Climate Data Record) نامیده می‌شوند (Ashouri et al., 2015).

ماهواره TRMM^۱ محصول مشترک ژاپن و آمریکا است که در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شد و در مدار در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری با زاویه میل ۳۵ درجه از استوا قرار گرفت. این ماهواره از ۳۱ ژانویه سال ۲۰۰۰ میلادی توزیع داده‌ها به‌صورت تقریباً هم‌زمان را آغاز کرده است. سیستم اندازه‌گیری این ماهواره شامل یک رادار بارش، یک رادیومتر ماکروویو چندفرکانسه و یک رادیومتر مادون قرمز است (Kummerow et al., 1998). محصولات آن از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد. یکی از الگوریتم‌های ماهواره TRMM، 3B43 می‌باشد و الگوریتم کاربردی آن ویرایش هفتم است.

عملکرد ضعیفی داشتند. در مجموع اظهار داشتند که می‌توان از پایگاه داده APHRODITE به‌عنوان جایگزین مناسبی برای داده‌های مشاهداتی استفاده کرد. از میان داده‌های ماهواره‌ای نیز TRMM عملکرد مناسبی داشت. (Pilpayeh et al. (2020) به مقایسه بین محصولات بارش PERSIANN، CMORPH و PERSIANN-CDR برای حوضه دره‌رود در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ و در مقیاس روزانه پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از عملکرد بهتر CMORPH نسبت به دو محصول دیگر است. (Hamza et al. (2020) به ارزیابی محصولات بارش PERSIANN-CDR، ویرایش ششم نسخه اجرای نهایی ماهواره SM2RAIN-ASCAT، ویرایش هفتم الگوریتم 3B42 ماهواره TRMM در کوه‌های هندوکش پاکستان در مقیاس روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که همه محصولات در مقیاس ماهانه عملکرد بهتری نسبت به مقیاس روزانه دارند و عملکرد PERSIANN-CDR و IMERG-Final و IMERG-Runs-V06 در مقیاس فصلی بهتر بوده است. با این حال همه محصولات عملکرد نامطلوبی در تشخیص باران‌های با شدت کم و متوسط داشته‌اند. (Nozarpour et al. (2021) به ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای MSWEP و PERSIANN-CDR با استفاده از داده‌های مشاهداتی برای کشور ایران از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ در مقیاس ماهانه پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که ضریب همبستگی و ضریب کارایی محصول MSWEP در کل کشور و به ویژه در نواحی جنوبی و شمالی کشور نسبت به محصول PERSIANN-CDR بهتر بوده است.

با توجه به مطالعات پیشین، علی‌رغم استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در مطالعات متعدد، از محصول 3B43 در مطالعات کمی استفاده شده است. ضمن اینکه در اکثر مطالعات محصولات ماهواره‌ای را در محدوده یک شهر یا یک استان و برای دوره زمانی کوتاهی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. همچنین عملکرد محصولات در شرایط اقلیمی مختلف مورد مقایسه قرار نگرفته است. بر این اساس در این تحقیق محصولات بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CDR و ویرایش هفتم نسخه 3B43 ماهواره TRMM در پهنه کشور ایران و در بازه زمانی ۱۲ ساله از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ مورد ارزیابی قرار گرفته و عملکرد آن‌ها در اقلیم‌های مختلف مطالعه شده است.

۲- روش تحقیق

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸،۱۹۵ کیلومترمربع در حدفاصل عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۳/۵ تا ۶۳/۵ درجه شرقی واقع شده است. شکل ۱ ویژگی‌های توپوگرافی فلات

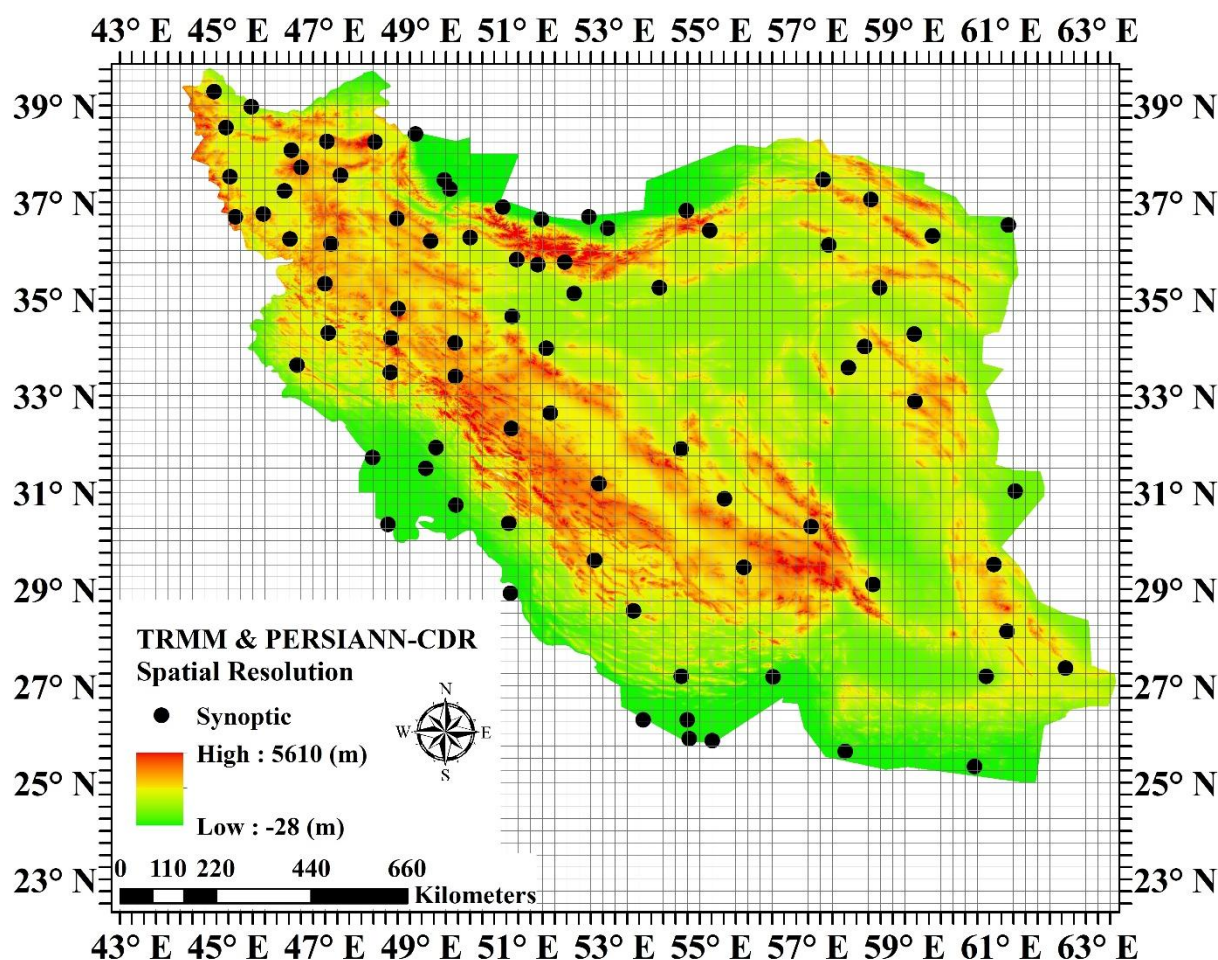


Fig. 1- Topographic features of the Iran plateau with satellite products grid networks and location of synoptic stations

شکل ۱- ویژگی‌های توپوگرافی فلات ایران به همراه توزیع نقاط شبکه‌بندی شده محصولات ماهواره‌ای و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

سینوپتیک در بازه زمانی ابتدای سال ۲۰۰۸ تا انتهای سال ۲۰۱۹ برگرفته از سایت سازمان هواشناسی کشور (<https://data.irimo.ir/>) استفاده شد. پراکنش مناسب ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این تحقیق منجر به آن شده که عملکرد ماهواره‌ها در تمام عرض‌های جغرافیایی ایران مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۱). در جدول ۱ مشخصات مربوط به هر کدام از محصولات مذکور ارائه گردیده است.

این الگوریتم به دو نوع مختلف حسگرهای ماهواره‌ای یعنی ماکروویو و اندازه‌گیری IR به‌عنوان داده ورودی بستگی دارد. هدف این الگوریتم حداقل‌سازی خطای برآورد ماهواره TRMM و بهبود برآورد میزان بارش در سری زمانی ماهانه است (Huffman et al., 2010).

برای ارزیابی هر کدام از محصولات بارشی مذکور در تخمین بارش ماهانه بخش‌های مختلف ایران، از اطلاعات ۸۱ ایستگاه‌های

Table 1- Satellite precipitation product specifications

جدول ۱- مشخصات محصولات بارش ماهواره‌ای

Data Set	Temporal Resolution	Spatial Resolution	Approximate Area of Each Cell	Coverage
TRMM-3B43	Monthly	0.25° × 0.25°	27.5 × 27.5	60°N-S
PERSIANN-CDR	Monthly	0.25° × 0.25°	27.5 × 27.5	60°N-S

مقدار آن بیشتر و نزدیک عدد یک باشد حاکی از دقت بالای تخمین‌ها دارد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) واریانس خطای مدل را در پیش‌بینی مقادیر واقعی نشان می‌دهد؛ بنابراین هرچه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی خطای کمتر مدل در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای است. ضریب کارایی (EF) در واقع بزرگی نسبی واریانس باقی‌مانده‌ها را در مقایسه با واریانس داده‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد و مقدار آن در محدوده منفی بینهایت تا یک قرار دارد. انحراف میانگین (MBE) در محدوده منفی بینهایت تا مثبت بینهایت بوده و مقادیر مثبت و منفی آن به ترتیب بیانگر بیش برآوردی و کم برآوردی محصول ماهواره‌ای نسبت به بارش زمینی است. در نهایت نسبت هشدار اشتباه (FAR) نسبت وقایع بارندگی غیر واقعی در بین تمام بارش‌های تشخیص داده شده به وسیله ماهواره را نشان می‌دهد. محدوده عددی این شاخص نیز بین صفر و ۱ بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد حاکی از عملکرد مناسب محصول ماهواره‌ای خواهد بود.

برای بررسی عملکرد محصولات بارش ماهواره‌ای در نواحی مختلف اقلیمی از تقسیم‌بندی اقلیمی (Heidari and Alijani (1999) استفاده شد. آن‌ها بر اساس تکنیک‌های آماری چند متغیره کشور ایران را به چندین ناحیه اقلیمی و زیر اقلیمی تقسیم کردند. در این پژوهش با تلفیق اقلیم‌های کوهستانی گرم، بیابانی خیلی گرم ساحلی، بیابانی گرم ساحلی و بیابانی معتدل در قالب اقلیم گرم و مرطوب، و نواحی بیابانی نیمه‌گرم داخلی، بیابانی شدید و خیلی گرم و نیمه‌خشک گرم در قالب اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی، و همچنین نیمه‌خشک سرد و کوهستانی سرد در قالب نواحی اقلیمی سرد، و نهایتاً خیلی مرطوب و معتدل، مرطوب و معتدل و نیمه مرطوب معتدل در قالب نواحی معتدل و مرطوب، در نهایت ایران به چهار ناحیه اقلیمی گرم و مرطوب، بیابانی و نیمه‌بیابانی، سرد، و معتدل و مرطوب تقسیم‌بندی شد (شکل ۲).

برای ارزیابی عملکرد محصولات بارشی از آماره‌های جدول ۲ استفاده شد. ضریب همبستگی (CC) شدت و نوع رابطه بین دو متغیر بارش مشاهده‌ای و بارش ماهواره‌ای را نشان می‌دهد؛ به طوری که هر چه

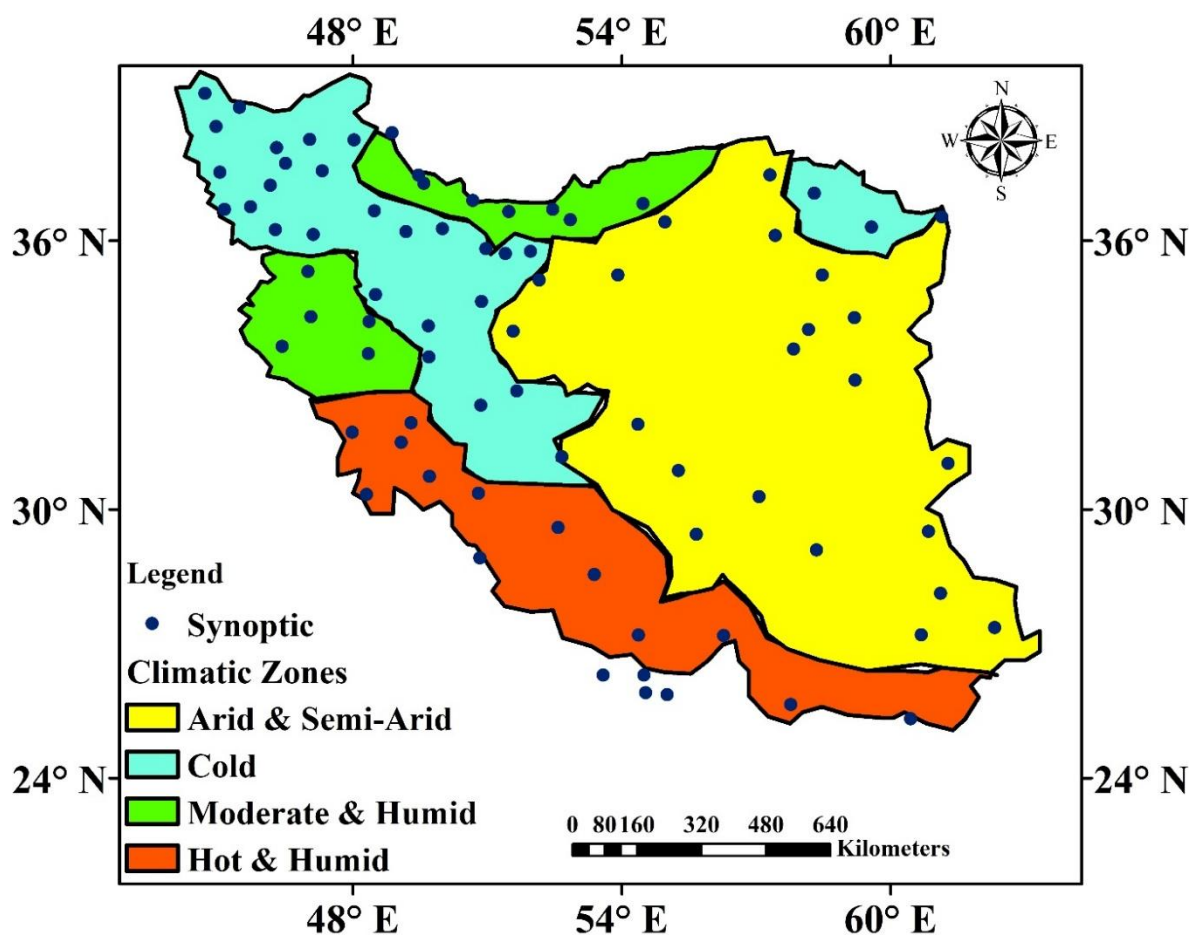


Fig. 2- Extracted map of classification of climatic zones of Iran based on Heidari & Alijani (1999)
 شکل ۲- نقشه استخراجی طبقه‌بندی نواحی اقلیمی ایران بر اساس مطالعه Heidari & Alijani (1999)

Table 2 - Statistical indicators used in the research

جدول ۲- شاخص‌های آماری مورد استفاده در پژوهش

No	Measure	Equation
1	Correlation Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - \bar{P}_S)(P_{O_i} - \bar{P}_O)}{\left(\sum_{i=1}^N \sqrt{(P_{S_i} - \bar{P}_S)^2}\right) \left(\sum_{i=1}^N \sqrt{(P_{O_i} - \bar{P}_O)^2}\right)}$
2	Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - P_{O_i})^2}{N}}$
3	Effective Factor	$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_{O_i} - P_{S_i})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{O_i} - \bar{P}_O)^2}$
4	False Alarm Ratio	$FAR = \frac{N_F}{N_H + N_F}$
5	Mean Bias Error	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - P_{O_i})}{N}$

۳- نتایج و تحلیل نتایج

در گام اول، سری زمانی ماهانه محصولات بارش ماهواره‌ای در مقابل داده‌های بارش مشاهداتی بر مبنای شاخص‌های آماری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۳، حداقل، میانگین و حداکثر مقادیر شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی دو محصول ماهواره‌ای در پهنه ایران آمده است. همچنین، شکل ۳ توزیع مکانی شاخص‌های ضریب همبستگی، ضریب کارایی و نسبت هشدار اشتباه و شکل ۴ توزیع مکانی شاخص‌های میانگین انحراف و جذر میانگین مربعات خطا را در موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک نشان می‌دهد. در جدول ۴ نیز درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده شاخص‌های آماری ارائه شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود دامنه تغییرات ضریب همبستگی و ضریب کارایی در TRMM-3B43 بزرگتر است، اما میانگین آن نسبت به PERSIANN-CDR بالاتر است. ضریب کارایی در موقعیت بیش از ۴۵ درصد ایستگاه‌ها در TRMM-3B43 و بیش از ۲۲ درصد ایستگاه‌ها در PERSIANN-CDR در محدوده عملکرد مطلوب (بالای ۰/۷) قرار گرفته‌اند. تعداد ایستگاه بیشتری در TRMM-3B43 به خصوص در نواحی شمال و شمال غرب، ضریب کارایی کمتر از صفر دارند. همچنین، تعداد زیادی از ایستگاه‌های واقع در این نواحی ضریب کارایی کمتر از ۰/۶ دارد. PERSIANN-CDR نیز ضعیف‌ترین عملکرد را در نوار ساحلی خزر و ارتفاعات زاگرس دارد و اکثر ایستگاه‌ها ضریب کارایی کمتر از صفر دارند.

در این روابط، P_{S_i} مقدار داده‌های بارش ماهواره‌ای برای ماه i ام، P_{O_i} مقدار داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک برای ماه i ام، \bar{P}_S میانگین داده‌های بارش ماهواره‌ای، \bar{P}_O میانگین داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و N تعداد نمونه‌ها می‌باشد. N_H بیانگر تعداد دفعاتی است که ماهواره، وقوع بارش را به درستی تشخیص داده و N_F نیز تعداد دفعاتی را نشان می‌دهد که بارش رخ نداده، اما ماهواره به اشتباه بارندگی را تشخیص داده است.

پس از دریافت محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM-3B43-V7 و PERSIANN-CDR با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه در ۰/۲۵ درجه به ترتیب از سایت‌های <https://disc.gsfc.nasa.gov> و <https://chrsdata.eng.uci.edu> با فرمت NetCDF برای کل کشور و در دوره زمانی ۱۲ ساله از ابتدای سال ۲۰۰۸ تا انتهای سال ۲۰۱۹ و سپس پردازش داده‌ها، سری زمانی بارش ماهانه نقاط گوناگون شبکه ساخته و آماده تجزیه و تحلیل شد. سپس پیکسل متناظر با موقعیت ایستگاه سینوپتیک شناسایی شده و مقدار بارش در نقاط گوشه هر پیکسل برآورد شد. پس از درون‌یابی مقادیر با توجه به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها، از اعداد حاصل میانگین‌گیری شد. در انتها مقدار بارش دو پایگاه داده ماهواره‌ای در نزدیک‌ترین نقطه به هر ایستگاه استخراج و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه دو ماتریس به ابعاد ۸۱ (معرف تعداد ایستگاه‌ها) در ۱۴۴ (معرف تعداد مشاهدات) تشکیل شد. در مرحله بعد، ماتریس داده‌های زمینی و محصولات ماهواره‌ای با استفاده از شاخص‌های آماری معرفی شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

Table 3- Minimum, average and maximum values of different statistical indicators in the evaluation of satellite precipitation products

جدول ۳- حداقل، میانگین و حداکثر مقادیر شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای					
Satellite Product	Statistical Indicator	Min	Average	Max	Std
TRMM-3B43	CC	0.29	0.85	0.98	0.11
	EF	-35.10	-0.11	0.93	4.08
	FAR	0.00	0.27	0.95	0.22
	MBE	-48.40	2.32	30.37	13.15
	RMSE	5.74	19.95	89.23	17.97
PERSIANN-CDR	CC	0.36	0.78	0.93	0.19
	EF	-7.58	-0.17	0.85	1.49
	FAR	0.00	0.20	0.61	0.16
	MBE	-69.44	2.03	27.88	18.67
	RMSE	7.19	26.62	162.94	28.22

در گام دوم با انطباق موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک بر روی نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران (شکل ۲)، تعداد ۱۷ ایستگاه در نواحی گرم و مرطوب، ۲۳ ایستگاه در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی، ۲۹ ایستگاه در نواحی سرد و ۱۲ ایستگاه در نواحی معتدل و مرطوب قرار گرفتند. کلیه شاخص‌های آماری معرفی شده برای هر ناحیه اقلیمی به طور جداگانه محاسبه شده و عملکرد محصولات بارش ماهواره‌ای در این نواحی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۵ مقایسه میانگین بارش درازمدت ماهانه در محصولات بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های سینوپتیک در نواحی اقلیمی مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هر دو محصول بارش ماهواره‌ای در نواحی گرم و مرطوب، به جز فروردین و اردیبهشت در سایر ماه‌ها بارش‌ها را بیشتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کنند. البته PERSIANN-CDR جایگاه اول بیش‌برآوردی را در فصل تابستان دارد. هر دو محصول در اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی در تمام ماه‌های سال، بارش‌ها را بیش از مقادیر واقعی برآورد می‌کنند.

در این نواحی اقلیمی TRMM-3B43 در ماه‌های اسفند تا خرداد و شهریور تا دی یعنی تقریباً معادل فصول بهار و پاییز در جایگاه اول بیش‌برآوردی قرار دارد. در حالی که PERSIANN-CDR جایگاه اول بیش‌برآوردی را در ماه‌های بهمن و تیر و مرداد دارد.

درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده شاخص‌های آماری در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در نواحی چهارگانه اقلیمی در شکل‌های ۵ تا ۹ نشان داده شده است. بر این اساس ضریب همبستگی TRMM-3B43 با داده‌های مشاهداتی در نواحی گرم و مرطوب در ۴۱ درصد ایستگاه‌ها، در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی در ۳۰ درصد

تنها در موقعیت تعداد کمی از ایستگاه‌ها در غرب، جنوب غرب و شمال شرق کشور، ضریب کارایی این محصول قابل قبول است. توزیع مکانی شاخص FAR محصولات بارش ماهواره‌ای در سطح کشور نیز نشان می‌دهد که به طور کل با حرکت از سمت شمال به جنوب و غرب به شرق کشور، بر میزان گزارش‌های اشتباه بارش افزوده می‌شود. در TRMM حدود ۴۴ درصد و در PERSIANN-CDR حدود ۵۸ درصد ایستگاه‌ها کمتر از ۲۰ درصد بارش‌های تشخیص داده شده را به طور غیر واقعی شناسایی کرده‌اند.

به طور کل با حرکت از غرب و شمال غرب کشور به سمت شرق و جنوب شرق، انحراف محصولات بارش ماهواره‌ای نسبت به مقادیر واقعی کمتر می‌شود. به این ترتیب عملکرد این محصولات در مناطق پر بارش همواره با سطوح بالاتری از انحراف مواجه است. به هر حال نتایج، حاکی از انحراف کم TRMM با داده‌های زمینی در اغلب پهنه ایران است. علاوه بر این در هر دو محصول، درصد ایستگاه‌هایی که بیش‌برآوردی بارش دارند بیشتر است؛ به طوری که نسبت تعداد ایستگاه‌های با بیش‌برآوردی به ایستگاه‌های با کم‌برآوردی در TRMM، حدود ۳/۵ و در PERSIANN-CDR، حدود ۲/۱۲ می‌باشد.

بر اساس شاخص RMSE نیز TRMM در نواحی شرقی، مرکزی و جنوب شرقی دارای کمترین مقدار خطا است. در مقابل بیشترین خطا در ناحیه شمال غرب و غرب کشور و در نوار ساحلی دریای خزر دیده می‌شود. البته PERSIANN-CDR مقدار خطای بیشتری را به ویژه در نواحی خزری دارد.

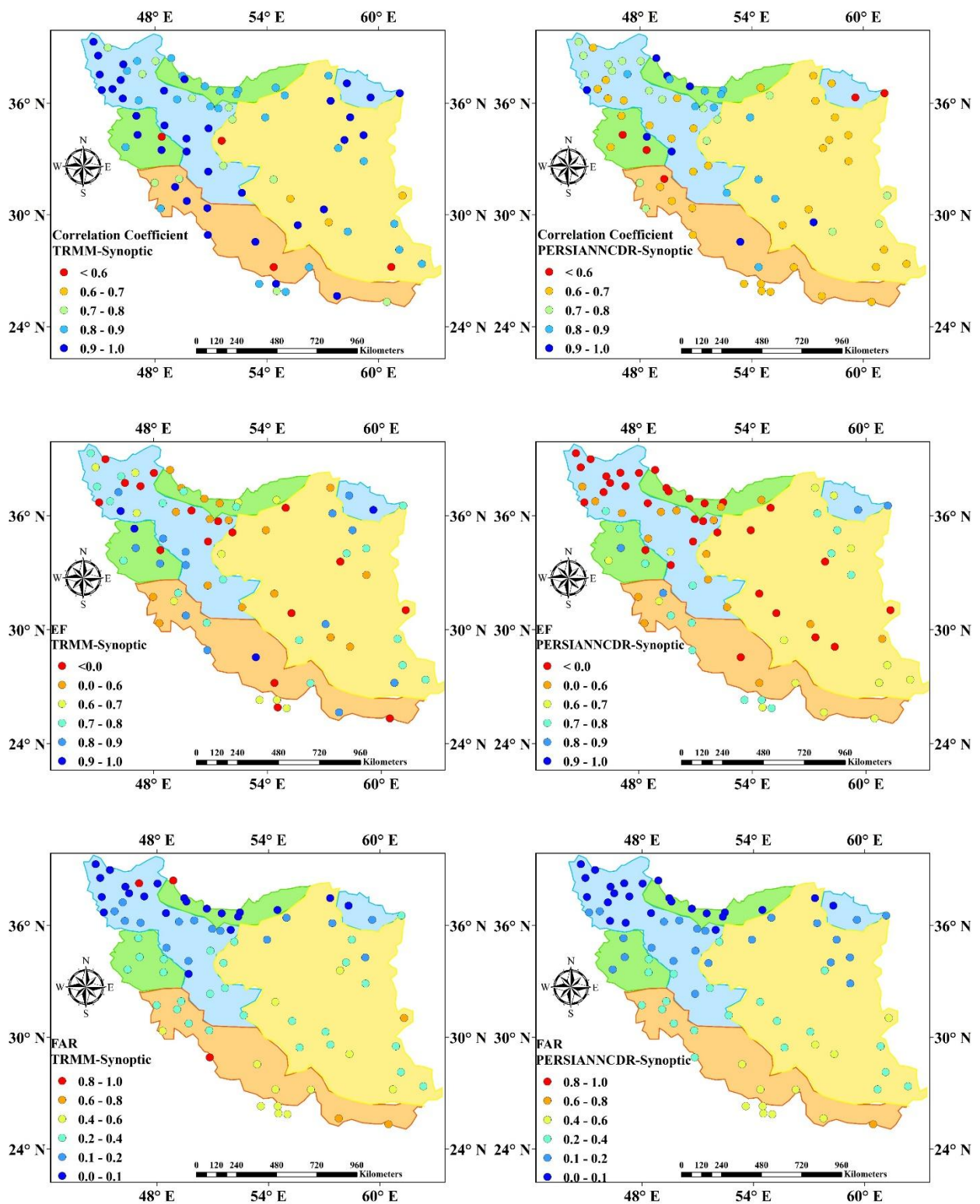


Fig. 3- Spatial distribution of CC, EF and FAR in evaluating satellite precipitation products

شکل ۳- توزیع مکانی آماره‌های ضریب همبستگی، ضریب کارایی و نسبت هشدار اشتباه در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای

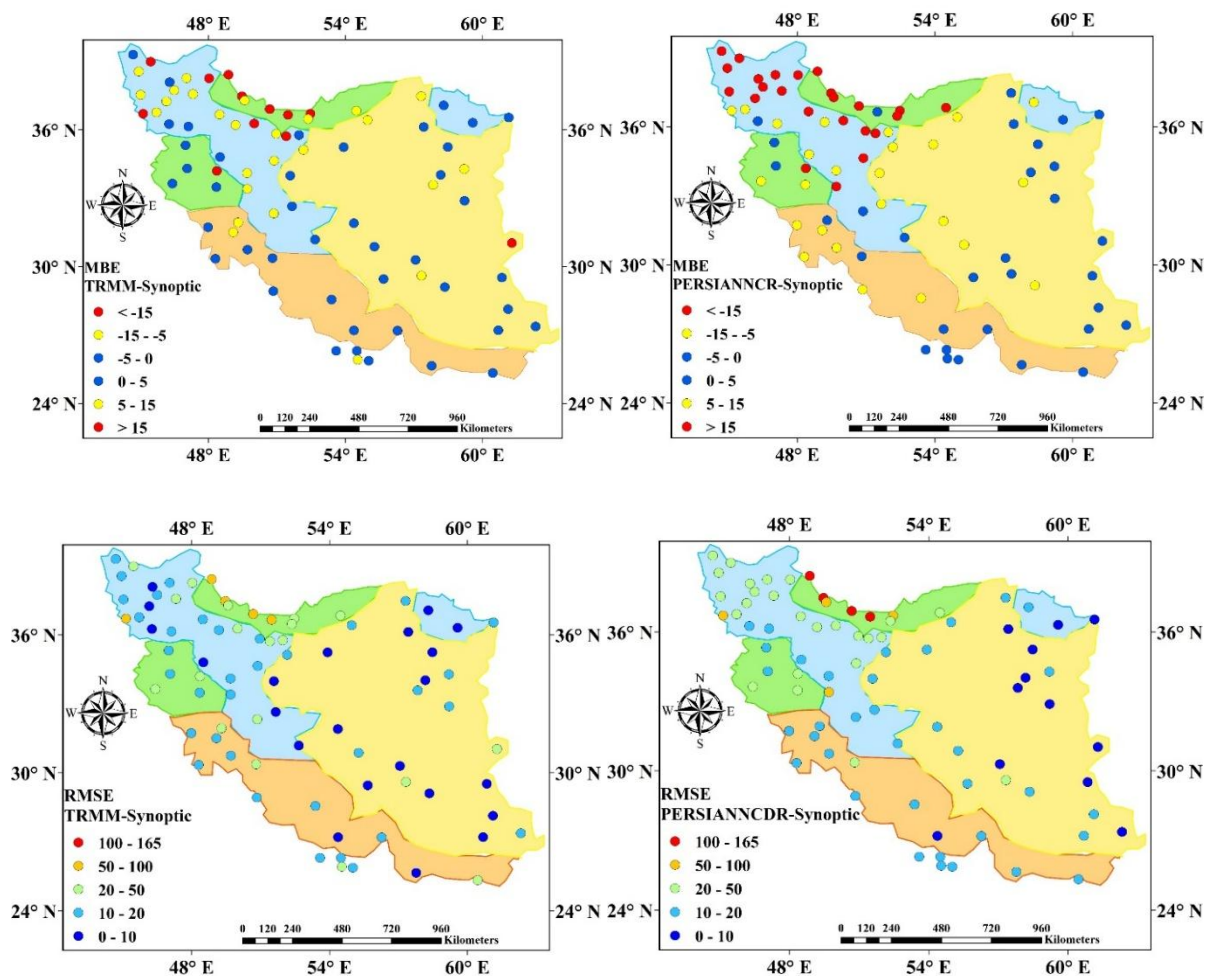


Fig. 4- Spatial distribution of MBE and RMSE in evaluating satellite precipitation products
شکل ۴- توزیع مکانی شاخص‌های میانگین انحراف و جذر میانگین مربعات خطا در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای

۰/۷ دارند. همچنین، ۴۸ درصد ایستگاه‌ها در نواحی اقلیمی بیابانی و نیمه‌بیابانی و ۳۵ درصد در نواحی اقلیمی گرم و مرطوب در این محصول در بازه مطلوب ضریب کارایی قرار دارند.

شرایط PERSIANN-CDR متفاوت بوده و با اینکه در ۳۵/۲۹ درصد ایستگاه‌های واقع در نواحی اقلیمی گرم و مرطوب مقدار ضریب کارایی بیشتر از ۰/۷ است، اما در نواحی سرد در ۱۳ درصد ایستگاه‌ها مقدار ضریب کارایی در این محدوده می‌باشد. باید توجه داشت که در این ناحیه اقلیمی هیچ کدام از ایستگاه‌ها ضریب کارایی بیشتر از ۰/۹ ندارند.

بررسی شاخص FAR در شکل ۷ نیز بیانگر آن است که هر دو محصول کمترین خطا در تشخیص بارش‌ها را در مناطق سرد و بیشترین مقدار خطا را در مناطق پر بارش معتدل و مرطوب دارند.

ایستگاه‌ها، در نواحی سرد در ۵۵ درصد ایستگاه‌ها و در نواحی معتدل و مرطوب در ۳۳ درصد ایستگاه‌ها بالای ۰/۹ است. ضمن اینکه ضریب همبستگی هیچ کدام از ایستگاه‌ها در نواحی گرم و مرطوب کمتر از ۰/۶ نمی‌باشد. از طرفی در نواحی سرد ضریب همبستگی همه ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۷ و در مناطق معتدل و مرطوب بیشتر از ۰/۸ می‌باشد. این در حالی است که PERSIANN-CDR تنها در ۶ درصد ایستگاه‌ها در نواحی گرم و مرطوب، در ۴ درصد در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی، ۳/۴۵ درصد در نواحی سرد و در نهایت در ۱۷ درصد در نواحی معتدل و مرطوب، همبستگی بالای ۰/۹ دارد (شکل ۵).

شکل ۶ نشان می‌دهد که بیشترین تعداد ایستگاه با ضریب کارایی مطلوب در TRMM-3B43 در نواحی اقلیمی سرد و معتدل و مرطوب می‌باشد؛ به طوری که به ترتیب ۵۲ درصد و ۵۰ درصد ایستگاه‌های واقع در نواحی اقلیمی سرد و معتدل و مرطوب ضریب کارایی بالاتر از

Table 4- Percentage of stations in each category of statistical indicators in evaluating satellite precipitation products

جدول ۴- درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده شاخص‌های آماری در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای

Statistical Indicator	TRMM-3B43	PERSIANN-CDR
CC	< 0.6	4.94
	0.6 - 0.7	3.70
	0.7 - 0.8	14.81
	0.8 - 0.9	33.34
	0.9 - 1.0	43.21
EF	0 - 0.6	20.98
	0.6 - 0.7	12.35
	0.7 - 0.8	23.46
	0.8 - 0.9	17.28
	0.9 - 1.0	4.94
FAR	0 - 0.1	25.92
	0.1 - 0.2	18.52
	0.2 - 0.4	33.33
	0.4 - 0.6	14.81
	0.6 - 0.8	3.70
	0.8 - 1.0	3.70
MBE	< 15	6.17
	-15 - -5	7.41
	-5 - 0	8.64
	0 - 5	44.44
	5 - 15	24.69
	> 15	8.64
RMSE	0 - 10	27.16
	10 - 20	43.21
	20 - 50	23.46
	50 - 100	6.17
	100 - 165	0

CDR به ترتیب در ۶۵، ۶۱، ۲۵ و ۱۴ درصد ایستگاه‌های نواحی اقلیمی گرم و مرطوب، بیابانی و نیمه‌بیابانی، سرد، و معتدل و مرطوب، حداقل میانگین انحراف دیده می‌شود. باید توجه داشت که در همه نواحی اقلیمی به جز معتدل و مرطوب، بیش‌برآوردی محصولات بارش ماهواره‌ای مشاهده می‌شود.

در TRMM-3B43، ۹۱ درصد ایستگاه‌ها در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی و ۲۵ درصد ایستگاه‌ها در نواحی معتدل و مرطوب RMSE کمتر از ۲۰ میلی‌متر در ماه دارند. در مقابل تقریباً ۳ درصد ایستگاه‌ها در نواحی سرد و ۳۳ درصد ایستگاه‌ها در نواحی معتدل و مرطوب در این محصول مقدار RMSE در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر دارند.

به طوری که در نواحی اقلیمی سرد، TRMM-3B43 در ۶۲ درصد ایستگاه‌ها و PERSIANN-CDR در ۵۲ درصد ایستگاه‌ها مقدار FAR کمتر از ۰/۲ دارد. TRMM-3B43 تنها در یک ایستگاه در ناحیه اقلیمی معتدل و مرطوب مقدار FAR کمتر از ۰/۲ دارد. براساس شاخص MBE در شکل ۸، به جز نواحی معتدل و مرطوب که اکثر ایستگاه‌ها مقدار بارش را کمتر از مقدار واقعی تخمین زده‌اند، در هر دو محصول، درصد ایستگاه‌هایی که بیش‌برآوردی بارش دارند بیشتر است. علاوه بر این بیشترین مقدار بیش‌برآوردی بارش در مناطق اقلیمی سرد بوده است. با توجه به نتایج TRMM مشاهده می‌شود که به ترتیب ۷۱، ۷۰، ۴۵ و ۳۳ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک در نواحی اقلیمی گرم و مرطوب، بیابانی و نیمه‌بیابانی، سرد، و معتدل و مرطوب دارای کمترین میانگین انحراف هستند. در مقابل در PERSIANN-

Table 5- Comparison of average monthly long-term precipitation in satellite precipitation products and synoptic stations in different climatic zones

جدول ۵- مقایسه میانگین بارش درازمدت ماهانه در محصولات بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های سینوپتیک در نواحی اقلیمی مختلف

Climatic Zone	Dataset	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Arid and Semi-arid	Synoptic	16.10	23.76	21.75	16.25	8.94	1.57	0.90	1.47	1.32	5.07	10.88	9.61
	TRMM-3B43	27.70	33.91	34.28	26.77	12.70	3.43	2.37	2.23	3.05	9.42	18.67	16.33
	PERSIANN-CDR	25.36	35.12	31.47	22.85	10.70	2.95	2.69	2.51	2.54	8.47	18.24	16.20
Cold	Synoptic	30.15	32.63	42.36	45.67	30.59	9.31	4.33	3.91	6.15	28.03	37.67	32.09
	TRMM-3B43	41.77	43.07	51.25	53.95	38.89	16.76	9.59	7.69	13.08	35.61	46.72	41.24
	PERSIANN-CDR	48.00	52.42	55.25	56.62	41.17	20.42	12.71	8.91	16.46	40.48	50.51	46.16
Hot and Humid	Synoptic	27.19	26.24	21.80	20.69	6.51	1.09	0.77	0.53	0.15	5.17	27.03	29.24
	TRMM-3B43	39.73	31.70	35.14	15.29	4.20	1.74	1.42	1.45	0.83	8.00	38.63	35.65
	PERSIANN-CDR	34.47	32.06	31.91	17.24	5.47	1.82	2.26	1.87	1.53	8.29	38.68	29.97
Moderate and Humid	Synoptic	87.90	79.17	72.73	56.89	21.64	19.69	30.74	44.05	97.20	167.22	142.14	86.04
	TRMM-3B43	84.57	74.35	67.32	60.60	27.14	17.85	23.51	26.44	53.71	94.56	95.70	70.09
	PERSIANN-CDR	49.87	52.91	50.41	49.67	28.24	11.48	7.13	6.48	22.43	47.43	55.63	46.57

۴- خلاصه و جمع‌بندی

بارش یک پارامتر مهم در چرخه هیدرولوژی است که مقدار آن در زمان‌ها و مکان‌های متفاوت به ویژه در نواحی که فراوانی روزهای دارای بارش کمتر است، متغیر می‌باشد. از طرفی به دلیل کمبود داده‌های بارش و همچنین پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی به ویژه در مناطق کوهستانی و دورافتاده به واسطه محدودیت‌های زیرساختی و دسترسی و هزینه‌های احداث و بهره‌برداری، چالش‌هایی در تحلیل بارش و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیک در مدیریت منابع آب وجود دارد (Moazami et al.,

این در حالی است که PERSIANN-CDR با اینکه در ۹۶ درصد ایستگاه‌های نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی، مقدار RMSE بین صفر تا ۲۰ میلی‌متر در ماه را دارد، اما در نواحی معتدل و مرطوب عملکرد ضعیفی داشته و فقط در ۱۷ درصد ایستگاه‌ها مقدار RMSE در این محدوده می‌باشد. این محصول در این ناحیه اقلیمی، در ۳۳ درصد ایستگاه‌ها RMSE بین ۱۰۰ تا ۱۶۵ میلی‌متر و در ۱۷ درصد ایستگاه‌ها مقدار خطای در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر را دارد (شکل ۹).

طوفان، کولاک، سیل، خشک‌سالی و رانش زمین بر اهمیت این پدیده
بیش‌ازپیش افزوده است (Sadeghi et al., 2019).

علاوه بر این، تأثیرگذاری مستقیم این عنصر جوی بر دسترس
بودن آب شیرین و همچنین پیامدهای ناشی از شدت آن همچون

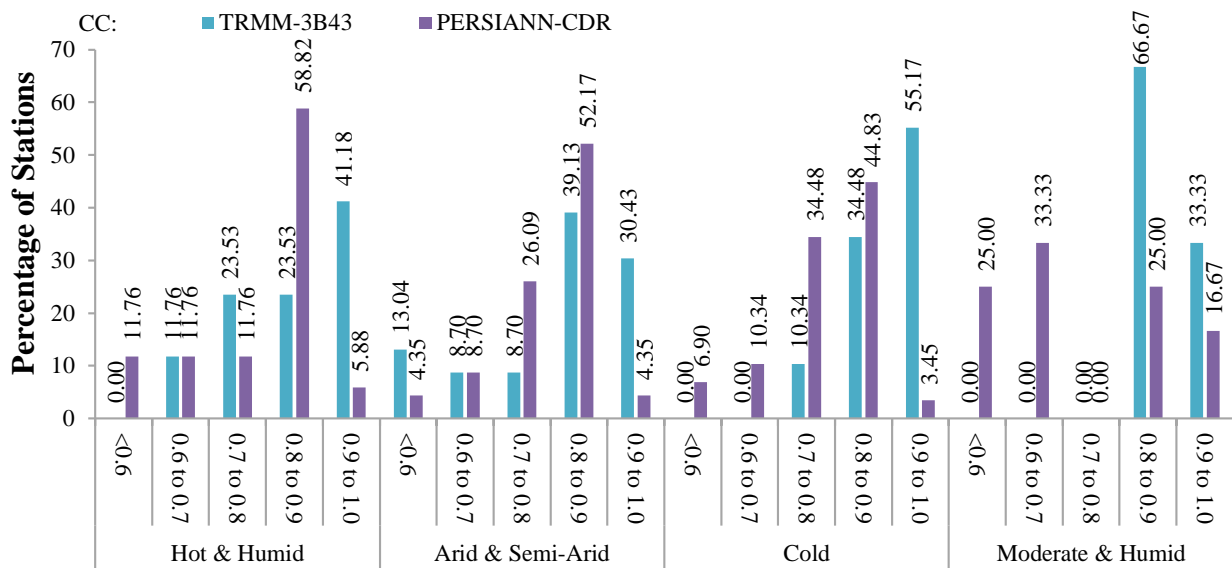


Fig. 5- Percentage of stations in each category of correlation coefficient in evaluating satellite precipitation products in the four climatic zones

شکل ۵- درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده ضریب همبستگی در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در نواحی چهارگانه اقلیمی

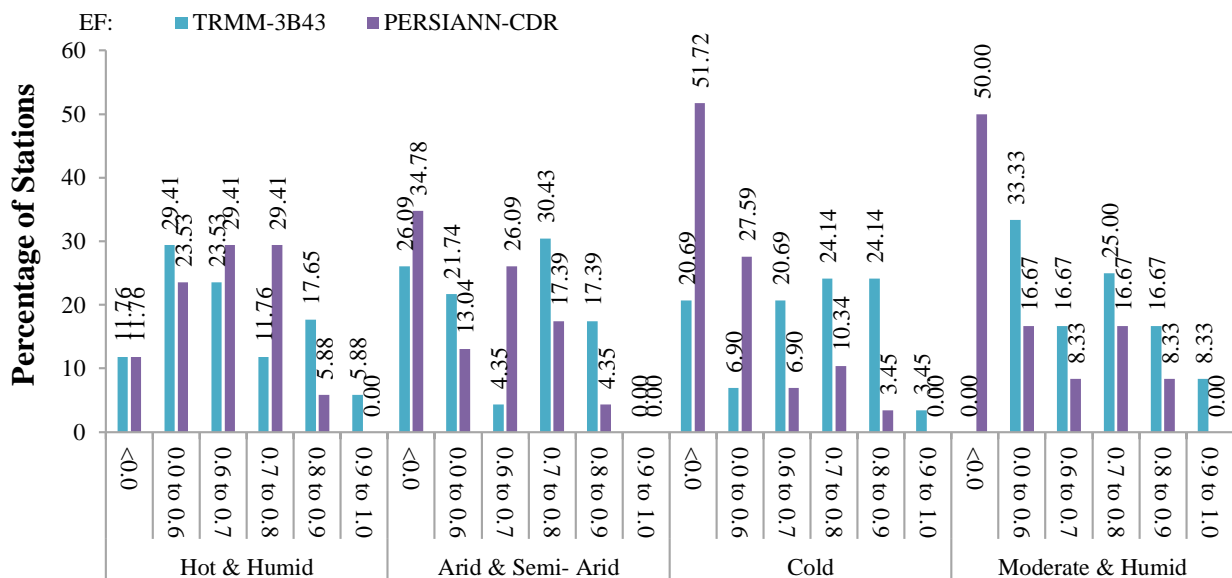


Fig. 6- Percentage of stations in each category of EF in evaluating satellite precipitation products in the four climatic zones

شکل ۶- درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده ضریب کارایی در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در نواحی چهارگانه اقلیمی

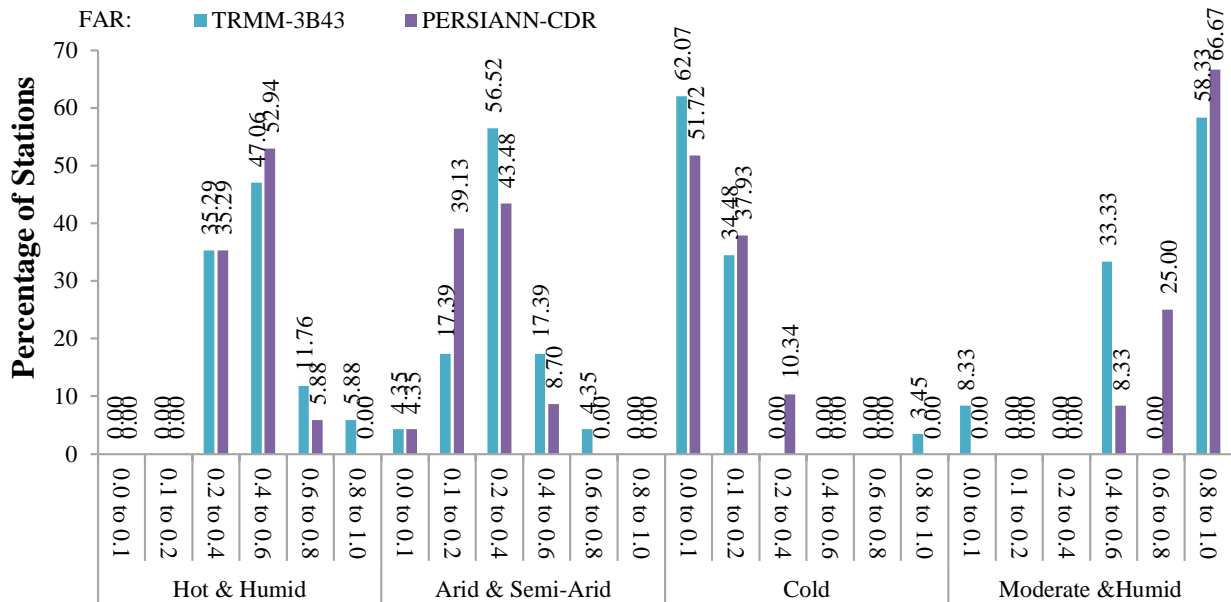


Fig. 7- Percentage of stations in each category of FAR in evaluating satellite precipitation products in the four climatic zones

شکل ۷- درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده نسبت هشدار اشتباه در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در نواحی چهارگانه اقلیمی

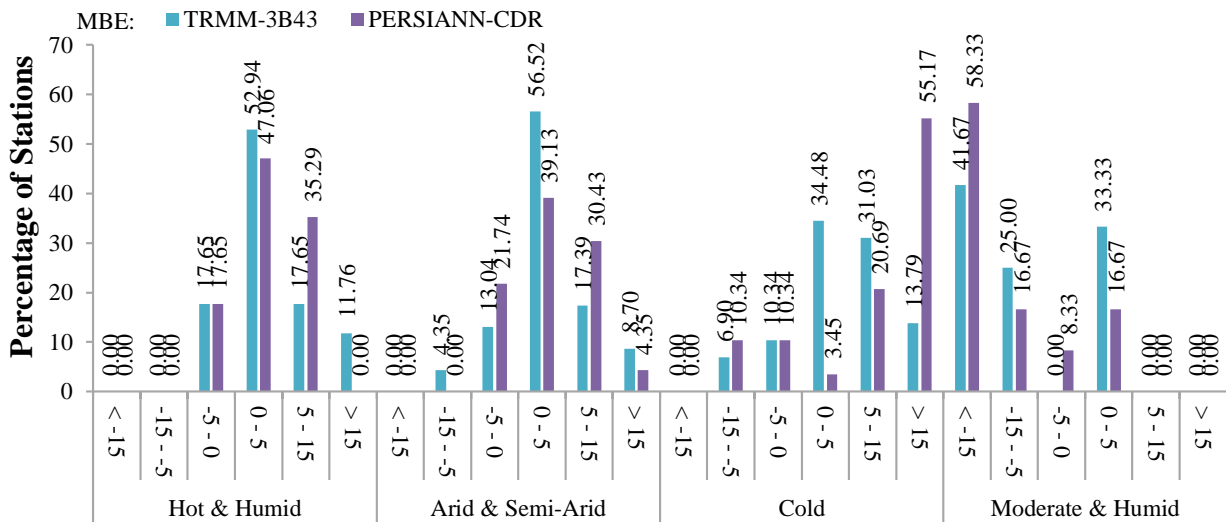


Fig. 8- Percentage of stations in each category of MBE in evaluating satellite precipitation products in the four climatic zones

شکل ۸- درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده میانگین انحراف در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در نواحی چهارگانه اقلیمی

اندازه‌گیری دقیق بارش، کاربردهای بسیاری در تحقیقات اقلیمی، کشاورزی، خشک‌سالی، بلایای طبیعی و آب‌شناسی دارد و می‌تواند پیش‌نیاز توسعه پایدار در زمینه‌های اقتصادی، اکولوژیکی و اجتماعی باشد (Katirai Broujerdi, 2013). بر این اساس لزوم بهره‌گیری از برآورد کننده‌های دیگر بارش نظیر رادارهای هواشناسی و سنجش‌گرهای ماهواره‌ای دوچندان است.

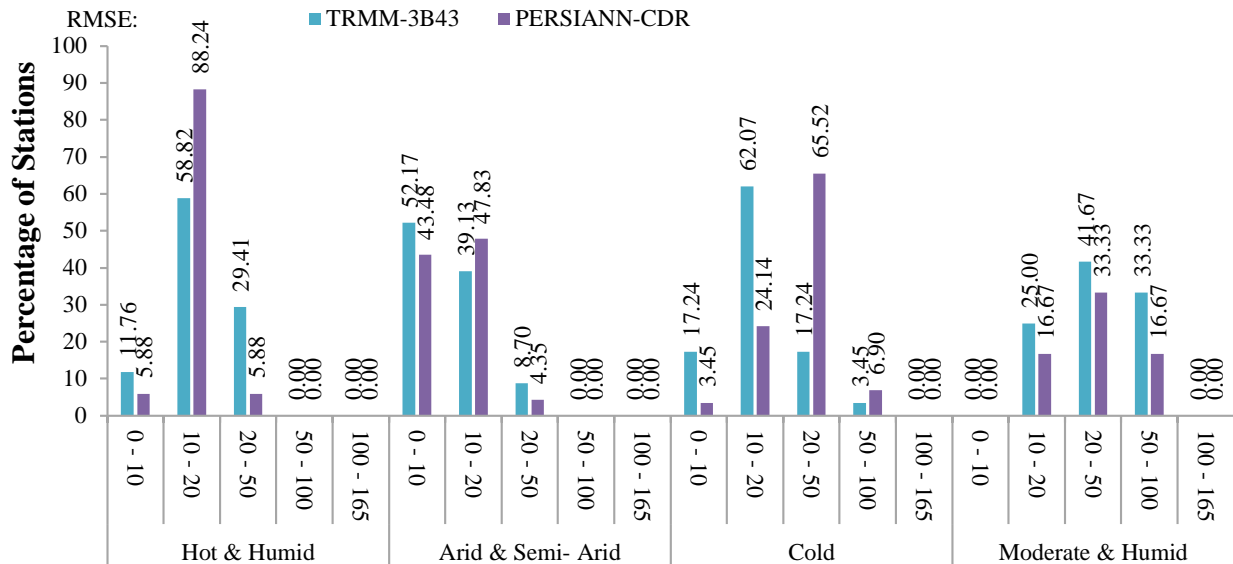


Fig. 9- Percentage of stations in each category of RMSE in evaluating satellite precipitation products in the four climatic zones

شکل ۹- درصد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده جذر میانگین مربعات خطا در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در نواحی

محصول در نواحی اقلیمی پیشنهاد می‌شود که در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی از داده‌های بارش TRMM استفاده شود و در نواحی معتدل و مرطوب با توجه به عملکرد ضعیف PERSIANN-CDR بهتر است از این محصول استفاده نشود. البته Azizian et al. (2020) در بررسی محصولات خانواده PERSIANN، عملکرد PERSIANN-CDR را در این نواحی از دیگر محصولات خانواده مناسب‌تر یافتند. در هر دو محصول درصد ایستگاه‌هایی که بیش‌برآوردی بارش دارند بیشتر است. بیشترین انحراف در نوار ساحلی خزر و بخش‌هایی از رشته‌کوه‌های زاگرس می‌باشد.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان این چنین بیان کرد که محصول بارش ماهواره‌ای TRMM نسبت به PERSIANN-CDR از عملکرد مناسبی در سطح کشور برخوردار بوده و می‌تواند در بسیاری از مناطق ایران به عنوان مکمل ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه مدنظر قرار گیرد. نظیر چنین نتیجه‌ای در مطالعه Vu et al. (2018) که در کره جنوبی به انجام رسیده بیان شده است. این امر می‌تواند حاکی از برتری کلی محصول TRMM نسبت به PERSIANN-CDR باشد که البته نیاز به بررسی‌های بیشتر در مناطق مختلف جهان دارد.

پی‌نوشت‌ها

1- Tropical Rainfall Measuring Mission

با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM-3B43-V7 و PERSIANN-CDR از طریق مقایسه با داده‌های بارش ۸۱ ایستگاه‌های سینوپتیک پراکنده در سطح کشور ایران در یک دوره آماری ۱۲ ساله و در مقیاس زمانی ماهانه و در اقلیم‌های مختلف به انجام رسید. نتایج نشان داد که در ارتفاعات زاگرس، شمال شرق و نوار ساحلی دریای خزر بیشترین همبستگی را با داده‌های زمینی دارد. مشابه نتایج Darand et al. (2017) و Miri et al. (2019)، مقدار RMSE هر دو محصول در ایستگاه‌های پر بارش سواحل جنوبی و دریای خزر در مقایسه با سایر ایستگاه‌های کشور به نسبت بیشتر بوده است. البته با توجه به مقدار ضرایب همبستگی و کارایی در این نواحی می‌توان گفت بزرگ بودن مقدار RMSE دلیلی بر کم بودن دقت مدل در پیش‌بینی بارش‌ها نیست. Miri et al. (2016) نیز به این امر اشاره داشته‌اند. به طور کل در پهنه ایران، هر دو محصول بارش در نواحی شمال، شمال غرب، نوار ساحلی خزر و ارتفاعات زاگرس ضرایب کارایی پایینی دارند. به نظر می‌رسد عملکرد این محصولات ماهواره‌ای در مناطق پر بارش دچار اختلال می‌شود. از نظر اقلیمی هم نتایج حاکی از آن است که کمترین مقدار خطا مربوط به ایستگاه‌های واقع در نواحی اقلیمی بیابانی و نیمه‌بیابانی بوده و در نواحی معتدل و مرطوب میزان خطای برآورد بارش برای هر دو محصول زیاد است. باید اشاره کرد که Erfanian et al. (2016) و Alijanian et al. (2017) نیز به همین جمع‌بندی رسیده‌اند. علاوه بر این ضرایب همبستگی هر دو محصول در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی کم است. با این وجود با توجه به نتایج عملکرد دو

- Alijanian M, Rakhshandehroo GR, Mishra AK, Dehghani M (2019) Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran. *International Journal of Climatology* 37(14):4896–4914
- Ashouri H, Hsu KL, Sorooshian S, Braithwaite D, Knapp K, Cecil LD, Nelson BR, Prat OP (2015) PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(1):69–83
- Azizian A, Amini s (2020) the effect of climate and topographic conditions on the performance of PERSIANN Family Products over Iran. *Iran-Water Resources Research* 16(1):86-101 (In Persian)
- Bosilovich MG, Chen J, Robertson FR, Adler RF (2008) Evaluation of global precipitation in reanalyses. *Journal of Applied Meteorology Climatology* 47(9):2279–2299
- Darand M, Amanollahi J, Zandkarimi S (2017) Evaluation of the performance of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) estimation over Iran. *Journal of Atmospheric Research* 190:121–127 (In Persian)
- Erfanian M, Kazempour S, Heidari H (2014) Evaluation of TRMM satellite rainfall data in arid and semi-arid regions of Iran. *First National Conference on Meteorology, University of Industrial and Advanced Technology, Kerman, Iran* (In Persian)
- Erfanian M, Kazempour S, Heidari H (2016) Calibration of TRMM 3B42 and 3B43 series rainfall data in climatic zones of Iran. *Journal of Natural Geography Research* 48(2):287-303 (In Persian)
- Golian S, Javadian M, Behrangi A (2019) On the use of satellite, gauge, and reanalysis precipitation products for drought studies. *Environmental Research Letters* 14(7):075005
- Hamza A, Anjum MN, Masud Cheema MJ, Chen X, Afzal A, Azam M, Kamran Shafi M, Gulakhmadov A (2020) Assessment of IMERG-V06, TRMM-3B42V7, SM2RAIN-ASCAT, and PERSIANN-CDR precipitation products over the Hindu Kush Mountains of Pakistan, South Asia. *Remote Sensing* 12(23):3871
- Heidari H, Alijani B (1999) Clasificacion climática de Irán mediante el metod estadístico multivariado. *Investigacion Geografica* 37:57-74 (In Persian)
- Hou AY, Kakar RK, Neeck S, Azarbarzin AA, Kummerow CD, Kojima M, Oki R, Nakamuura K, Iguchi T (2014) The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society* 95(5):701-722
- Huffman GJ, Adler RF, Bolvin DT, Nelkin EJ (2010) The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA). In *satellite rainfall applications for surface hydrology*, Springer 3–22
- Khalighi-Sigaroodi E, Ghaljaee E, Moghaddam Nia A, Malekian A, Zhang F (2019) Evaluation of TRMM-3B42V7 and PERSIANN-CDR daily-precipitation products for the southern slopes of Alborz mountains, Iran. *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 4(18):1163–1167
- Kummerow C, Barnes W, Kozu T, Shiue J, Simpson J (1998) The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic* 15(3):809–817
- Li L, Hong Y, Wang J, Adler RF, Policelli FS, Habib S, Irwn D, Korme T, Okllo L (2009) Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood prediction system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa. *Natural Hazards* 50(1):109–123.
- Liu J, Xia J, She D, Li L, Wang Q, Zou L (2019) Evaluation of six satellite-based precipitation products and their ability for capturing characteristics of extreme precipitation events over a climate transition area in China. *Remote Sensing* 11(12):1–21
- Miri M, Razi T, Rahimi M (2016) Statistical evaluation and comparison of TRMM and GPCC precipitation data with observational data in Iran. *Journal of Earth and Space Physics* 3(42):657-672
- Miri M, Razi T, Rahimi M (2019) Assessing the accuracy of estimating daily precipitation of TRMM and GPM databases against observational data in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management* 11(4):972-983 (In Persian)
- Nozarpour N, Mahjoobi E, Golian S (2021) Evaluation of MSWEP and PERSIANN-CDR satellite precipitation data with ground station precipitation data in Iran. *8th National Conference On Water Resource Management of Iran, Ferdowsi University of Mashhad* (In Persian)
- Pilpayeh A, Shayeghi A, Bakhtar A, Rahmati A, Vatankhah A (2020) Evaluation of global rainfall resources with high temporal and spatial resolution at the level of Ardabil River Valley. *Journal of Water and Soil Conservation* 4(9):1-20 (In Persian)
- Rahmati A, Massah Bavani AR (2019) Comparative evaluation of global precipitation databases with

- observable precipitation values, (Case study: watershed Karun). *Iran-Water Resources Research* 1(15):178-192 (In Persian)
- Sadeghi H, MasoumpourSamakoush J, Miri M (2019) Evaluation of GPM telemetry precipitation data versus observational data (Case study: Midwest of Iran). *Remote Sensing and GIS in Iran* 11(2):115–124 (In Persian)
- Vu TT, Li L, Jun KS (2018) Evaluation of multi-satellite precipitation products for streamflow simulations: A case study for the Han River Basin in the Korean Peninsula, East Asia. *Journal of Water* 10(5):642-665
- Xue X, Hong Y, Limaye AS, Gourley JJ, Huffman GJ, Ibrahim Khan S, Dorji C, Chen S (2013) Statistical and hydrological evaluation of TRMM-based multi-satellite precipitation analysis over the Wangchu Basin of Bhutan: Are the latest satellite precipitation products 3B42V7 ready for use in ungauged basins. *Journal of Hydrology* 499:91–99
- Zanganeh MR, Ghahreman B, Faridhosseini A (2019) Comparison of observed precipitation values and precipitation information of PERSIANN and CMORPH satellites-hourly and daily scale interpolation methods (Case study: Shapur catchment). *Iran-Water Resources Research* 4(14):1-12 (In Persian)