

Statistical Comparison of Daily Satellite Precipitation Data in Middle Alborz

Esmatullah Ghaljaee | Shahram Khalighi-Sigaroodi  | Alireza Moghaddam Nia  | Arash Malekian

Department of Reclamation of Arid & Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
E-mail: khalighi@ut.ac.ir

Article Info

Abstract

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 20 January 2019

Received in revised: 4 February 2023

Accepted: 13 March 2023

Published online: 21 June 2023

Keywords:

Satellite Rainfall Data,

Error Assessment,

3B42 V7,

CDR,

Southern slopes of Alborz.

Reliable estimation of precipitation is one of the most essential needs in water resources management. However, in many parts of the world, especially in Iran, the lack of time and place of rainfall data is very noticeable. Therefore, the use of satellite information is one of the ways to compensate for the lack of information. The purpose of this research is to compare the accuracy of rainfall information of TRMM-3B42 and PERSIANN-CDR products on a daily scale. The products of these two satellites are available daily for free in the pixel size of 0.25 degrees. The daily rainfall of 12 stations in the southern slopes of Alborz in a statistical period of 2000-2014 was used. The results show that these two satellite products are not the same in different statistical parameters, so that CDR and 3B42 have estimated 100% and 25% more rainfall events than the stations, respectively. Also, PERSIANN satellite is significantly superior to 3B42 in terms of RMSE, POD and CSI parameters, but on the other hand, it is weaker in terms of Bias and FAR parameters. Therefore, the selection of the desired satellite product should be based on the proper parameters.

Cite this article: Ghaljaee, E., Khalighi-Sigaroodi, S., Moghaddam Nia, A., Malekian, A. (2023). Statistical Comparison of Daily Satellite Precipitation Data in Middle Alborz. *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (1), 1-14.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.274312.1344>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

مقایسه آماری داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای در البرز میانی

عصمت‌الله قلجایی | شهرام خلیقی سیگارودی* | علیرضا مقدم نیا | آرش ملکیان

گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: khalighi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۳۰</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱</p> <p>کلیدواژه‌ها: بارندگی ماهواره‌ای، ارزیابی خطا، 3B42 CDR دامنه‌های جنوبی البرز</p>	<p>برآورد قابل اعتماد بارش یکی از ضروری‌ترین نیازها در مدیریت منابع آب است. با این حال، در بسیاری از نقاط جهان، به ویژه ایران کمبود زمانی و مکانی داده‌های بارش بسیار محسوس است. لذا استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای یکی از راهکارهای جبران کمبود اطلاعات می‌باشد.</p> <p>هدف از این پژوهش، مقایسه دقت اطلاعات بارش ماهواره‌ای دو محصول TRMM-3B42 و PERSIANN-CDR است که در دو مقیاس روزانه بررسی شده است. محصولات این دو ماهواره بصورت رایگان در پیکسل سایز ۰.۲۵ درجه و بصورت ۳ ساعته، روزانه و ماهانه در دسترس است. در این پژوهش از بارندگی روزانه ۱۲ ایستگاه در دامنه‌های جنوبی البرز در یک دوره آماری ۲۰۱۴-۲۰۰۰ استفاده شد.</p> <p>نتایج نشان داد که ارجحیت مطلق را برای یکی از این دو محصول ماهواره‌ای نمی‌توان قائل شد. بطوریکه CDR و 3B42 به ترتیب ۱۰۰٪ و ۲۵٪ تعداد وقایع بارش را بیشتر از ایستگاه‌ها برآورد کرده‌اند. همچنین ماهواره PERSIANN نسبت به 3B42 بطور قابل توجهی از نظر پارامترهای POD, RMSE, و CSI برتری دارد ولی در مقابل از نظر پارامترهای Bias و FAR ضعیف‌تر است. لذا انتخاب محصول ماهواره‌ای مورد نظر باید بر اساس پارامتر مورد توجه صورت گیرد.</p>

استناد: قلجایی، ع.، خلیقی سیگارودی، ش.، مقدم‌نیا، ع.، ملکیان، آ. (۱۴۰۲). مقایسه آماری داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای در البرز میانی. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۶(۱)، ۱-۱۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.274312.1344>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

مدیریت صحیح منابع آب مستلزم داشتن اطلاعات دقیق از بارش به عنوان مهم‌ترین ورودی در چرخه هیدرولوژیک است (سروشیان^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین بارش ورودی اصلی در برنامه ریزی توسعه پایدار منابع آب شناخته شده است. در سطح جهانی برای اندازه‌گیری داده‌های بارش از ایستگاه‌های هواشناسی شامل ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی استفاده می‌گردد. در برخی مناطق جهان به دلایل مختلفی از جمله کمبود منابع مالی و همچنین عدم سهولت دسترسی ممکن است تراکم ایستگاه‌های زمینی کم باشد. بنابراین، برآورد دقیق بارش و تعمیم آن به سطحی بزرگتر با مشکل مواجه می‌گردد (معظمی^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). در کشور ایران نیز تراکم ایستگاه‌های زمینی کم بوده و فاصله بین ایستگاه‌ها به خصوص در مناطق کوهستانی و یا کویری که صعب العبور هستند از چند کیلومتر تا چند ده کیلومتر متفاوت است. در چنین شرایطی تخمین دقیق بارندگی برای ارزیابی منابع آب، تخمین خشکسالی و تکرار آن که باعث بروز مشکلات محیط زیستی، کشاورزی و اقتصادی می‌گردد کار دشواری است (پیاثو^۳ و همکاران، ۲۰۱۰)، (وانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). از طرف دیگر، اندازه‌گیری ارتفاع و حجم بارش برای پیش بینی خطرات ناشی از بارندگی‌های سنگین، برآورد میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی، طراحی و احداث سازه‌های هیدرولیکی، توسعه مدل‌های بارش - رواناب مهم می‌باشد (گمز^۵، ۲۰۰۷).

اندازه‌گیری میزان بارندگی توسط ایستگاه‌های هواشناسی، رادارهای زمینی و ماهواره‌ها انجام می‌گیرد. مرسوم‌ترین روش اندازه‌گیری میزان بارندگی در سطح زمین، استفاده از باران‌سنج‌ها می‌باشد. این روش دارای مشکلاتی از قبیل برداشت نقطه‌ای، عدم توانایی ثبت باران‌های شدید، عدم پوشش مناطق صعب العبور و کوهستانی، وابستگی دقت آنها به شرایط محیطی و نیاز به تاسیسات گران قیمت می‌باشد (دمارچی^۶، ۲۰۰۶). بنابراین، برای تخمین بارش در یک ناحیه از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌گردد، اما روش‌های درون‌یابی در مناطق خشک و نیمه خشک به دلایل مختلفی از جمله نوسانات بارش دارای خطا می‌باشند. بنابراین، داده‌های زمینی برای توسعه یک مجموعه داده قابل اطمینان و با قدرت تفکیک بالا، مناسب و کافی نیستند. در این میان رادارها و ماهواره‌ها دو منبع دیگر برای داده‌های بارش هستند که گزینه‌های مناسبی برای برآورد بارش بوده و دارای قدرت تفکیک بالایی نسبت به باران‌سنج‌ها هستند. رادارهای بارندگی نیز برخی از مشکلات از قبیل نیازمندی به تاسیسات گران قیمت، ناهمگنی جمع‌آوری داده‌ها به خاطر پراکندگی مکانی، خطای تبدیل بازتاب پذیری به نرخ بارندگی و محدودیت پوشش مکانی را دارا می‌باشند و مناطقی که خارج از محدوده پوشش رادار هستند، اطلاعات رادار در اختیار نخواهد بود. در مقابل، داده‌های ماهواره‌ای به خصوص در مناطقی نظیر اقیانوس‌ها، مناطق با ارتفاع زیاد و مناطق دور افتاده که داده‌های زمینی و یا راداری موجود نیستند یا محدود هستند تنها منابع اطلاعاتی می‌باشند.

در کشورهای مختلف به منظور دانستن عملکرد داده‌های ماهواره‌ای بارش ارزیابی‌های صورت می‌گیرد از جمله تحقیقی که در امارات توسط محمود^۷ و همکاران (۲۰۱۹) انجام گرفت و عملکرد داده‌های بارش دو ماهواره را مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین ژانگ^۸ و همکاران (۲۰۱۹) در گوانژوی چین مطالعه ای برای یافتن بهترین برآورد ماهواره‌ای بارش با استفاده از تعدادی از روش‌های آماری انجام دادند (جانگ و همکاران، ۲۰۱۹). هوبوچیان^۹ و همکاران (۲۰۱۷) چهار محصول ماهواره‌ای با وضوح ۰/۲۵ درجه، (TRMM^{۱۰} (RT, 3B42 V7, TMPA)،

¹ Sorooshian

² Moazami

³ Piao

⁴ Wang

⁵ Gómez

⁶ De Marchi

⁷ Mahmoud

⁸ Zhang

⁹ Hobouchian

¹⁰ Tropical Rainfall Measuring Mission

CMORPH در کوه‌های آند که منطقه حاره با تغییرات توپوگرافی شدید می‌باشد، و برداشت داده‌های زمینی را با چالش مواجه می‌کند، در یک دوره ۷ ساله از ۱ ژانویه ۲۰۰۴ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۰ مورد ارزیابی قرار دادند. آماره‌های مختلف برای شناسایی تفاوت‌های اصلی آنها در فصل‌های گرم و سرد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که خطاها در فصل زمستان در صورتی که در فصل مرطوب جهت باد به سمت کوه‌های آند باشد بسیار کاهش می‌یابد و در سایر موارد بارش را کمتر از اندازه‌گیری زمینی برآورد می‌کند. بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که در تمام برآوردهای ماهواره‌ای با تغییر توپوگرافی و ارتفاع، خطاها تغییر می‌کند (هوبوچیان و همکاران، ۲۰۱۷). در تحقیقی که یانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۷) در حوضه هانجیانگ چین برای مدیریت منابع آب انجام دادند، داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM (3B42V7) با داده‌های ایستگاه‌های زمینی مورد مقایسه قرار گرفت، این تحقیق نشان داد که در بارش‌های شدید مقدار برآوردی ماهواره کمتر از واقعیت می‌باشد که باید در توسعه داده‌های ماهواره‌ای در آینده مد نظر قرار گیرد و همچنین این تحقیق نشان می‌دهد که عملکرد ماهواره‌ها در برآورد بارش ماهانه با داده‌های ایستگاهی سازگاری بیشتری دارد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین ورگلال^۲ و همکاران (۲۰۱۷) با هدف مقایسه مزایا و محدودیت‌های استفاده از تخمین‌های بارش ماهواره‌ای از TRMM (3B42 V7) در دو منطقه (با تراکم بالایی از ایستگاه‌های باران سنجی و منطقه‌ای با تراکم کمی از ایستگاه‌های باران سنجی حوزه رودخانه نیل در مصر) استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های ماهواره‌ای در هر دو منطقه نیاز به واسنجی دارند تا بتوانند بهترین عملکرد را داشته باشد. همچنین در تحقیق صورت گرفته توسط دارند^۳ و همکاران (۲۰۱۷) برای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای (TMPA V7) در ایران برای یک دوره ۱۶ ساله (۲۰۱۳-۱۹۹۸) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی، عملکرد بهتر داده‌های ماهواره‌ای را نسبت به داده‌های ایستگاه‌های باران سنج زمینی در محدوده کوه‌های زاگرس در غرب ایران نشان می‌دهد (دارلند و همکاران، ۲۰۱۷). کتیرایی^۴ و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی داده‌های PERSIANN-CDR^۵ و TRMM 3B42 V7 با استفاده از روش GTCH^۶ در ایران که مستقل از داده‌های مرجع به عنوان ورودی است، پرداختند. در این تحقیق CRU^۷ نیز به مدل GTCH اضافه شد تا حداقل نیاز آن که ۳ داده ورودی است، برآورده شود. برای اطمینان از هماهنگی تمام مجموعه داده‌ها، دو محصول ماهواره‌ای به تفکیک پذیری مکانی ۰/۵ درجه تقسیم شده است که حداقل تفکیک CRU است. نتایج نشان می‌دهد که PERSIANN-CDR دارای نسبت بیشتر سیگنال به میزان نویز (SNR) نسبت به TRMM-3B42 V7 برای تخمینی بارندگی ماهانه، به ویژه در نیمه شمالی کشور است. تمام مجموعه داده‌ها SNR کم در ناحیه کوهستانی جنوب غربی ایران و نیز مناطق خشک در منطقه جنوب شرقی کشور را نشان دادند. هر دو محصول ماهواره، ضریب همبستگی بالاتر و RMSE پایین‌تر را برای میانگین سالانه دوره خشک متوالی نسبت به دوره مرطوب نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که TRMM-3B42 V7 می‌تواند میانگین سالانه شاخص‌های مطلق (تعداد روزهای مرطوب با بارندگی بیشتر از ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر) را بهتر از PERSIANN-CDR برآورد کند (کتیرایی و همکاران، ۲۰۱۷).

ولنگ و همکاران^۸ (۲۰۱۹) تحقیقی را انجام دادند که هدف آنها ارزیابی کارایی ابزار هیدرولوژیکی (TMPA 3B42V7) در دو مدل مختلف هیدرولوژیکی Xinanjiang و Tank برای نظارت بر رواناب در حوضه رودخانه یانگ تسه چین می‌باشد. نتایج نشان داد که داده‌های بارش TMPA می‌تواند برای شبیه‌سازی رواناب در مقایسه با داده‌های زمینی استفاده شود و واسنجی داده TMPA می‌تواند برای بهبود دقت داده‌های بارش در مقیاس‌های نقطه‌ای و منطقه‌ای مفید باشد. دو روش معادلات تنظیم در این مطالعه پیشنهاد شده (مدل

¹ Yang

² Worqlul

³ Darand

⁴ Katiraie

⁵ Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks- Climate Data Record

⁶ Generalized Three-Cornered Hat

⁷ Climate Data Unit

⁸ Wang

سازگاری جغرافیایی و مدل تعدیل خطای افزودنی)، که اریبی^۱ به طور قابل توجهی بهبود یافته است، و باعث حل مشکل کم برآوردی می‌شود. علاوه بر این، داده‌های بارش TMPA دقت قابل قبولی برای کنترل مدل‌های (Xinanjiang و Tank) به منظور نظارت بر رواناب نشان می‌دهد. با استفاده از داده‌های رواناب اندازه‌گیری شده از چهار ایستگاه اصلی حوضه رودخانه یانگ تسه، کارایی عالی مدل Xinanjiang با ضریب تعیین ۰/۹۴۵-۰/۹۶۶ و ۰/۹۰۰-۰/۹۲۲ برای دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی نشان داده شده است. این ضرایب برای مدل تانک با مقادیر ۰/۹۴۳-۰/۹۶۳ و ۰/۹۱۷-۰/۹۲۰ برای دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی بود (جانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

پالومینو^۲ و همکاران (۲۰۱۹) دقت محصولات سنسجش بارش باران گرمسیری در منطقه شمال غرب امریکای جنوبی و اطلاعات بارندگی 3B42 v7 و IMERG^۳، تحت شرایط بارش بسیار زیاد و نقاط قوت و ضعف آنها را ارزیابی کردند. این برنامه‌ها اطلاعات روزانه بارش را با تفکیک مکانی ۰/۲۵ و ۰/۱ درجه ارائه می‌دهد. اعتبار سنجی با استفاده از یک سری زمانی از داده‌های بارش روزانه به دست آمده از ۱۸۵ ایستگاه آب سنجی توزیع شده بر روی منطقه مورد مطالعه انجام شد. معیارهای مختلف آماری در ارزیابی و مقایسه استفاده شد: معیارهای خطا (میانگین اختلاف MD، میانگین اختلاف نسبی RMD و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE)، یک معیار همبستگی (CP همبستگی پیرسون)، معیارهای احتمالی (احتمال تشخیص POD، نسبت هشدار خطر FAR و شاخص موفقیت بحرانی CSI). همچنین مقیاس شبکه و محدوده ارزیابی کردند. نتایج نشان می‌دهد که محصولات روزانه 3B42 v7 و IMERG به خوبی توزیع مکانی و زمانی متوسط بارندگی روزانه را نشان می‌دهند و هر دو محصولات برای تشخیص حوادث بارش مناسب هستند. همچنین متوسط بارندگی روزانه در مناطق با بارش نسبی کم و ارتفاع متوسط تا زیاد، بیش از حد برآورد می‌شود در حالی که برعکس، روند متوسط بارندگی روزانه در مناطقی با بارش بسیار زیاد و ارتفاع متوسط تا کم، کمتر از حد برآورد می‌شود و خطاهای قابل توجه در تخمین بارندگی روزانه بارشهای بسیار شدید در برخی مناطق دارد (پالومینو و همکاران، ۲۰۱۹).

همانطور که دیده می‌شود، در اغلب مطالعات پیشین عملکرد داده‌های ماهواره‌ای در نقاط مختلف نتایج یکسانی نداشته و گاهی تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند بنابر این در مناطقی که فاقد ایستگاه زمینی هستند استفاده از هر یک از محصولات یاد شده می‌تواند بسیار دور از واقعیت و غیر قابل بررسی باشد بخصوص اینکه اغلب مقایسه داده‌های در مقیاس زمانی ماهانه صورت گرفته و کمتر مقیاس زمانی روزانه مد نظر بوده است این در حالی است که در مقیاس ماهانه به علت تجمیع وقایع نتایج به نسبت رضایت بخش تر است. هدف اصلی این مقاله مقایسه داده‌های روزانه دو محصول ماهواره ای PERSIANN-CDR و TRMM-3B42 نسخه ۷ که دارای بیشترین کاربرد در بین کاربران بوده است و تبیین نقاط قوت و ضعف هر یک از این منابع اطلاعاتی در دامنه‌های جنوبی البرز می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

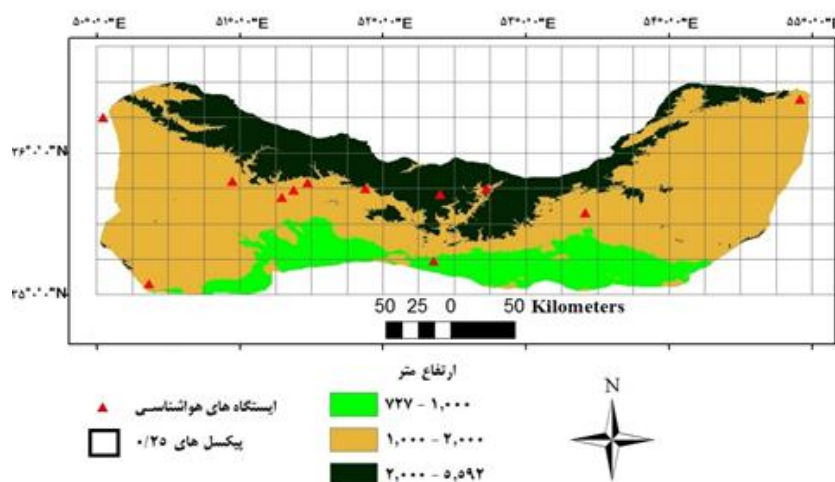
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی دامنه‌ها جنوبی رشته کوه البرز با مساحت ۴۹۳۲ کیلومترمربع، بین محدوده ۲۲' ۲" تا ۳۴' ۲۶" عرض شمالی و ۵۰' ۲۰" ۵۰" تا ۵۷' ۳۷" طول شرقی واقع می‌باشد. آب و هوای این منطقه از کوهستان در شمال و دشت در جنوب تاثیر پذیرفته و مهم‌ترین منبع بارش در آن بادهای مرطوب مدیترانه‌ای و اطلسی وزیده شده از سوی غرب است. محدوده ارتفاعی منطقه مورد مطالعه از ۷۰۲ تا ۵۶۷۱ متر می‌باشد در مطالعه حاضر، با توجه به کیفیت و کفایت داده‌های مورد نیاز از آمار بارندگی روزانه ۱۳ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی ایران، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شده است. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۱) و موقعیت جغرافیایی آنها در شکل (۱) ارائه شده است.

¹ Bias

² Palomino

³ Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی

ایستگاه	ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	متوسط بارندگی سالیانه (میلی متر)
آبعلی	۲۴۶۵	۵۱/۸۸	۳۵/۷۵	۵۶۵/۴
فیروز کوه	۱۹۷۶	۷۳/۵۲	۳۵/۷۵	۲۹۴
فیروز کوه (آلودگی)	۲۹۸۵	۵۲/۴	۳۵/۷۱	۴۱۸/۸
گرمسار	۸۹۹	۵۲/۳۶	۳۵/۲۴	۱۲۳
کرج	۱۲۹۲	۵۰/۹۵	۳۵/۸	۲۸۲
قزوین	۱۲۷۹	۵۰/۰۵	۳۶/۲۵	۳۲۱/۳
سمنان	۱۱۲۷	۵۳/۴۲	۳۵/۵۸	۱۱۴/۸
شاهرود	۱۳۳۵	۵۴/۹۲	۳۶/۳۸	۱۴۶/۶
تهران (ژئوفیزیک)	۱۴۱۸	۵۱/۳۸	۳۵/۷۴	۳۳۳/۷
تهران (فرودگاه مهرآباد)	۱۱۹۱	۵۱/۳	۳۵/۶۹	۲۵۳/۷
تهران (شمیران)	۱۵۴۹	۵۱/۴۸	۳۵/۷۹	۴۴۱/۶
ساوه	۱۱۱۱	۵۰/۳۷	۳۵/۰۸	۲۰۱/۳

۲-۲. داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه داده‌های روزانه بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک و TRMM-3B42-v7 و PERSIANN-CDR منطقه مطالعاتی از اول ژانویه ۲۰۰۰ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۴ استفاده شده است. داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده است و داده‌های ماهواره‌ای از سایت ناسا^۱ دانلود گردیده و به کمک نرم افزار GIS و MATLAB به داده‌های عددی تبدیل شدند. ماهواره TRMM در سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی دو کشور آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد. این ماهواره در ارتفاع تقریبی ۳۵۰ کیلومتری زمین قرار داشته، با زاویه میل ۳۵ درجه در حال پایش ویژگی‌های جوی است (هافمن و بلوین، ۲۰۱۵). این داده‌ها دارای قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه هستند و عرض‌های جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی را پوشش می‌دهند. همچنین PERSIANN یک الگوریتم در حال توسعه در دانشگاه آریزونا برای برآورد بارندگی است. اساس کار این الگوریتم بر پایه شبکه عصبی

^۱ <https://pmm.nasa.gov/>

است. از جمله ویژگی‌های این الگوریتم سهولت به روز رسانی سریع پارامترهای شبکه می‌باشد. در این الگوریتم، اطلاعات ماهواره GEO^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شبکه به منظور تخمین بارش با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه در گام‌های زمانی نیم ساعته توسعه داده شده است (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰). داده‌های بارندگی ماهواره‌ای PERSIANN-CDR از سایت دانشگاه ایروین کالیفرنیا^۲ بعد از انتخاب موقعیت مکانی، زمانی و نوع داده‌ها با فرمت Tiff دانلود شد و با نرم‌افزار ArcGIS-v10.6 داده‌های بارندگی روزانه استخراج شد. داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک و داده‌های هر پیکسل در همان موقعیت از دو الگوریتم در یک فایل رایانه ای قرار گرفته و پردازش آماری بر روی آن صورت گرفت.

۲-۳. روش تحقیق

به منظور ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای بارش در مقایسه با داده‌های مشاهداتی زمینی از شاخص‌های آماری خطای ارائه شده در معادلات ۱ تا ۴ استفاده می‌گردد. بر اساس این روابط، اریب (Bias) شاخصی است که در آن میانگین تفاضل داده‌های ماهواره‌ای از مقادیر مشاهداتی محاسبه می‌گردد. این شاخص می‌تواند منفی یا مثبت باشد. مثبت بودن این شاخص به معنی تخمین زیاد برآورد مقدار بارش و منفی بودن آن به معنی تخمین کم برآوردهای ماهواره‌ای می‌باشد.

میانگین خطای مطلق، نشان دهنده میانگین مقدار خطا بوده و با MAE^۳ نمایش داده می‌شود و RMSE^۴ نیز جذر خطای میانگین مربعات است و همانند شاخص قبل میانگین مقدار خطا را بدست می‌دهد با این تفاوت که در خطاهای بزرگ‌تر وزن بیشتری در نظر می‌گیرد. طبیعی است که با افزایش مقدار این شاخص خطای تخمین بیشتر می‌شود.

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (SDi - ODi)}{N} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |SDi - ODi|}{N} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (SDi - ODi)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (SDi - \overline{SD}) \sum_{i=1}^n (ODi - \overline{OD})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (SDi - \overline{SD})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (ODi - \overline{OD})^2}} \quad \text{رابطه ۴}$$

در معادلات فوق‌الذکر SDi: بارش تخمین زده شده ماهواره‌ای، ODi: بارش مشاهداتی باران‌سنجی و N: تعداد داده‌های بارش است. مقادیر کم خطا، نشان دهنده دقت بالای تخمین در مقابل مقادیر مشاهده‌اتی می‌باشد و برعکس.

به منظور بررسی عملکرد ماهواره‌ها در تشخیص وقوع و عدم وقوع بارش از احتمال آشکارسازی (POD^۵)، نرخ هشدار اشتباه (FAR^۶) و شاخص موفقیت بحرانی (CSI^۷) استفاده گردید. شاخص POD نشان‌دهنده‌ی میزان دقت در تشخیص وقوع بارش، FAR بیانگر حالتی که در آن داده‌های ماهواره‌ای وقوع بارش را نشان داده اما در ایستگاه بارشی رخ نداده، CSI بیانگر نسبتی از وقوع بارش می‌باشد که

^۱ Geostationary Equatorial Orbit

^۲ <http://chrsdata.eng.uci.edu/>

^۳ Mean Absolute Error

^۴ Root Mean Square Error

^۵ Probability of Detection

^۶ False Alarm Ratio

^۷ Critical Success Index

توسط داده‌های ماهواره‌ای به درستی تشخیص داده شده است. برای محاسبه این شاخص‌ها از معادلات (۵) تا (۷) استفاده گردید. در بهترین حالت ممکن مقادیر POD، FAR، CSI به ترتیب برابر یک، صفر و یک می‌باشد (ویلیک، ۲۰۰۶).

$$POD = \frac{RR}{RR+RN} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$FAR = \frac{NR}{RR+NR} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$CSI = \frac{RR}{RR+NR+RN} \quad \text{رابطه (۷)}$$

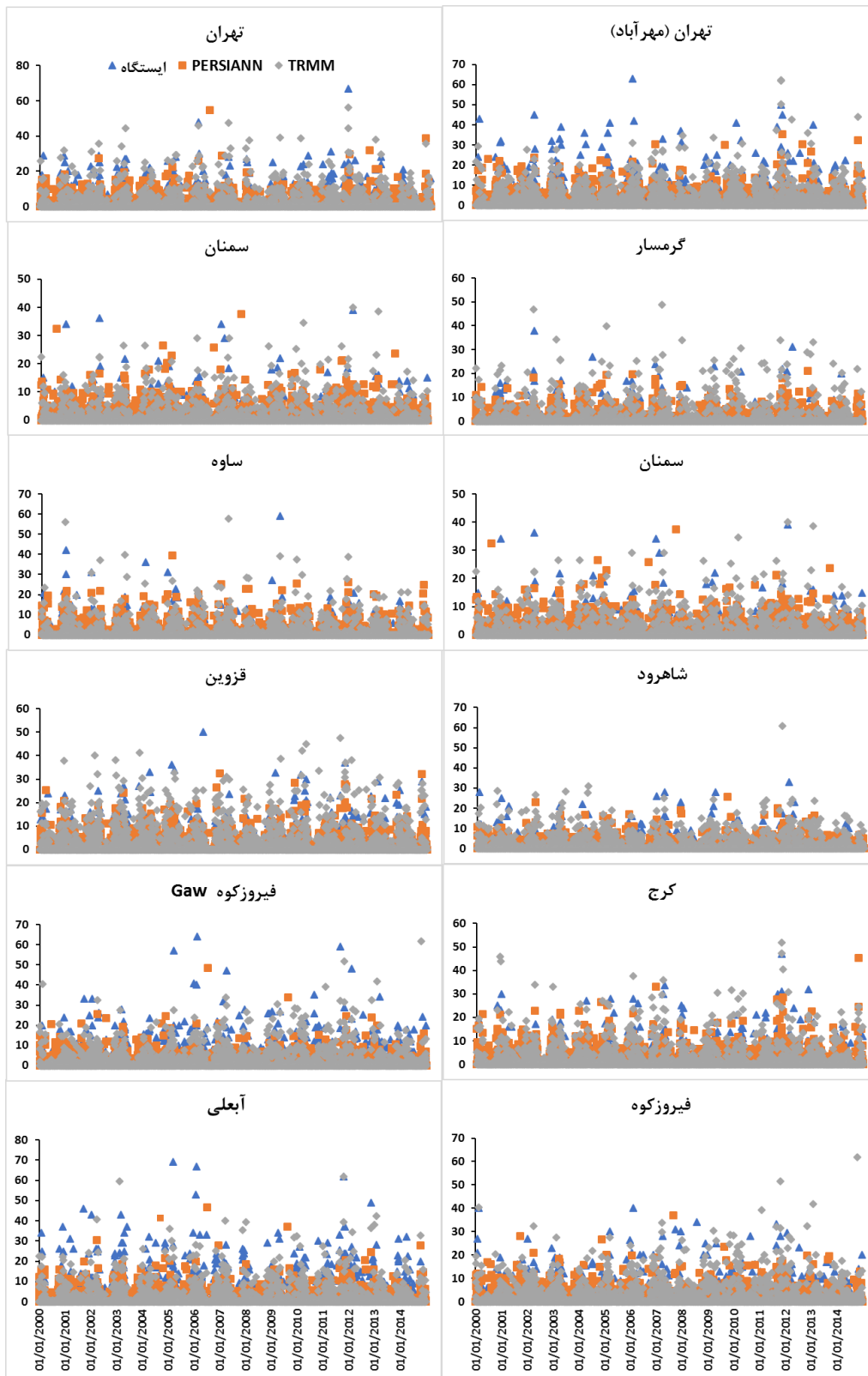
که در معادلات فوق‌الذکر RR: نشان دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است و داده‌های ماهواره‌ای نیز وقوع بارش را نشان می‌دهند، NR: نشان دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ نداده است اما داده‌های ماهواره‌ای وقوع بارش را نشان می‌دهند، RN: نشان دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است اما داده‌های ماهواره‌ای وقوع بارش را نشان نمی‌دهند.

۳. نتایج و بحث

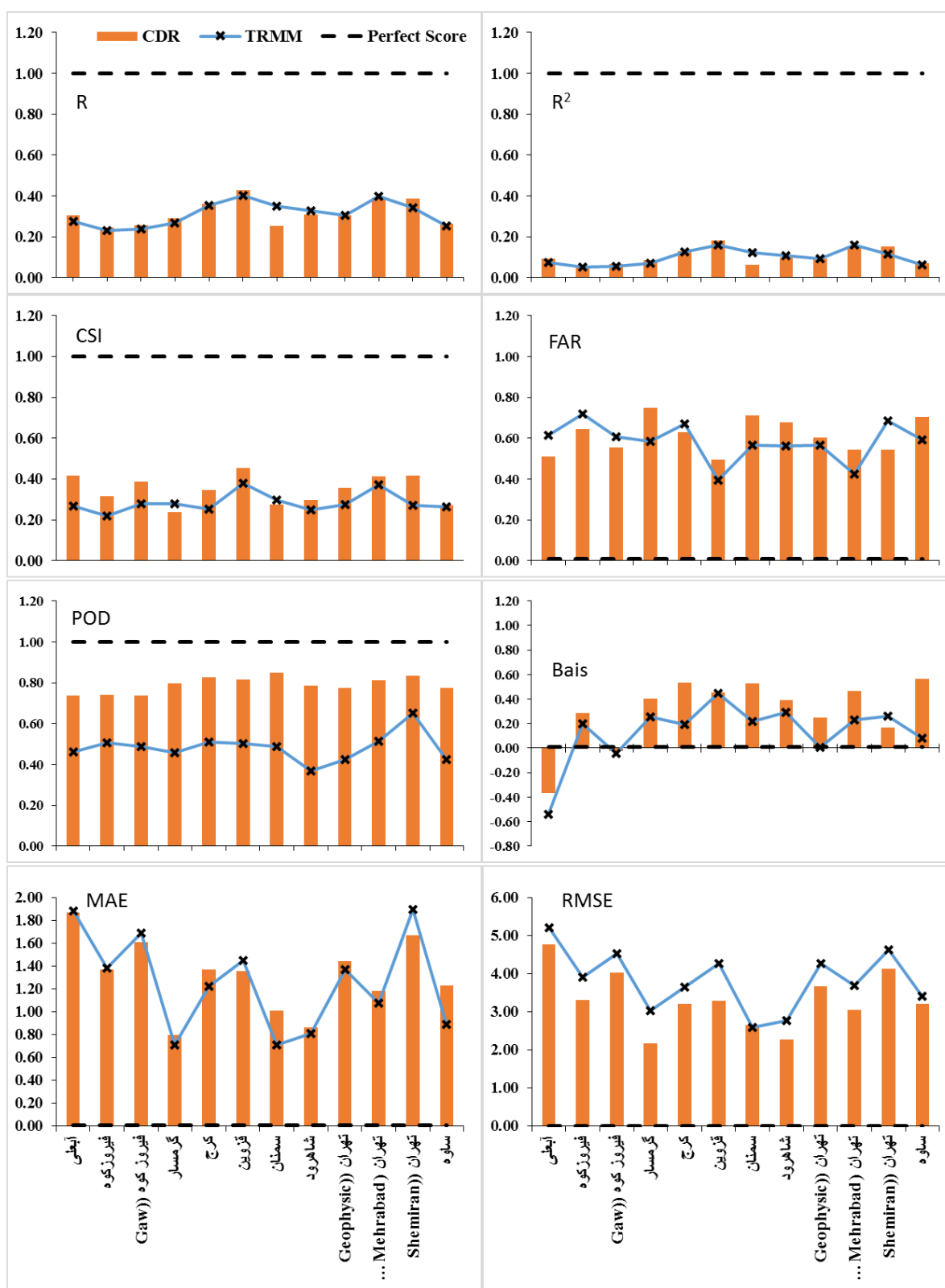
در این مطالعه، مقایسه‌ای بین مقادیر بارش ماهواره‌ای برآورد شده از TRMM-3B42 v7، PERSIANN-CDR و بارش مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. هدف از این مقایسه به دست آوردن میزان خطای تخمین بارش، با استفاده از هر دو الگوریتم در مقایسه با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک و نیز میزان همبستگی میان داده‌های برآورد شده و مشاهده‌ای است. در صورت نلذک بودن میزان خطا و وجود همبستگی بالا میان داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای بارش، می‌توان از اطلاعات بارندگی ماهواره‌ها برای تخمین میزان بارندگی و وقوع بارش در مناطقی که فاقد ایستگاه زمینی هستند و یا تعداد ایستگاه‌ها کافی نمی‌باشد و همچنین مناطق صعب العبور که امکان تاسیس و اندازه‌گیری‌های مرتب امکان پذیر نیست، استفاده کرد. برآورد ماهواره‌ای میزان بارش روزانه تخمین زده شده توسط هر دو داده‌های ماهواره‌ای بارندگی در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در شکل (۲) نشان داده شده است که حاکی از تشابه نسبی بین نوسانات بارش روزانه ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای می‌باشد.

آماره‌های مربوط به رخدادهای بارش روزانه کل دوره، در هر دو محصول ماهواره‌ای (CDR و 3B42) در شکل (۳) نشان داده شده است. مقادیر خطای MAE و RMSE و میزان اریبی Bias، ضریب همبستگی R، ضریب تبیین R^2 و شاخص‌های صحت سنجی (POD، FAR، CSI) در مقیاس روزانه، نشان از برتری نسبی PERSIANN-CDR بر TRMM در میزان مقادیر بهتر R، RMSE، CSI و POD دارد و بیانگر این مطلب می‌باشد که PERSIANN روزهای تر و خشک را بهتر از TRMM برآورد می‌کند که با نتایج تحقیق ژانگ و همکاران در سال (۲۰۱۹) که در کل چین انجام دادند، مطابقت دارد و به نتایج مشابهی در عملکرد PERSIANN-CDR در مقابل TRMM-3B42 نسخه ۷ در تشخیص بهتر روزهای تر و خشک CDR در مطالعات درازمدت رسیدند (جانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

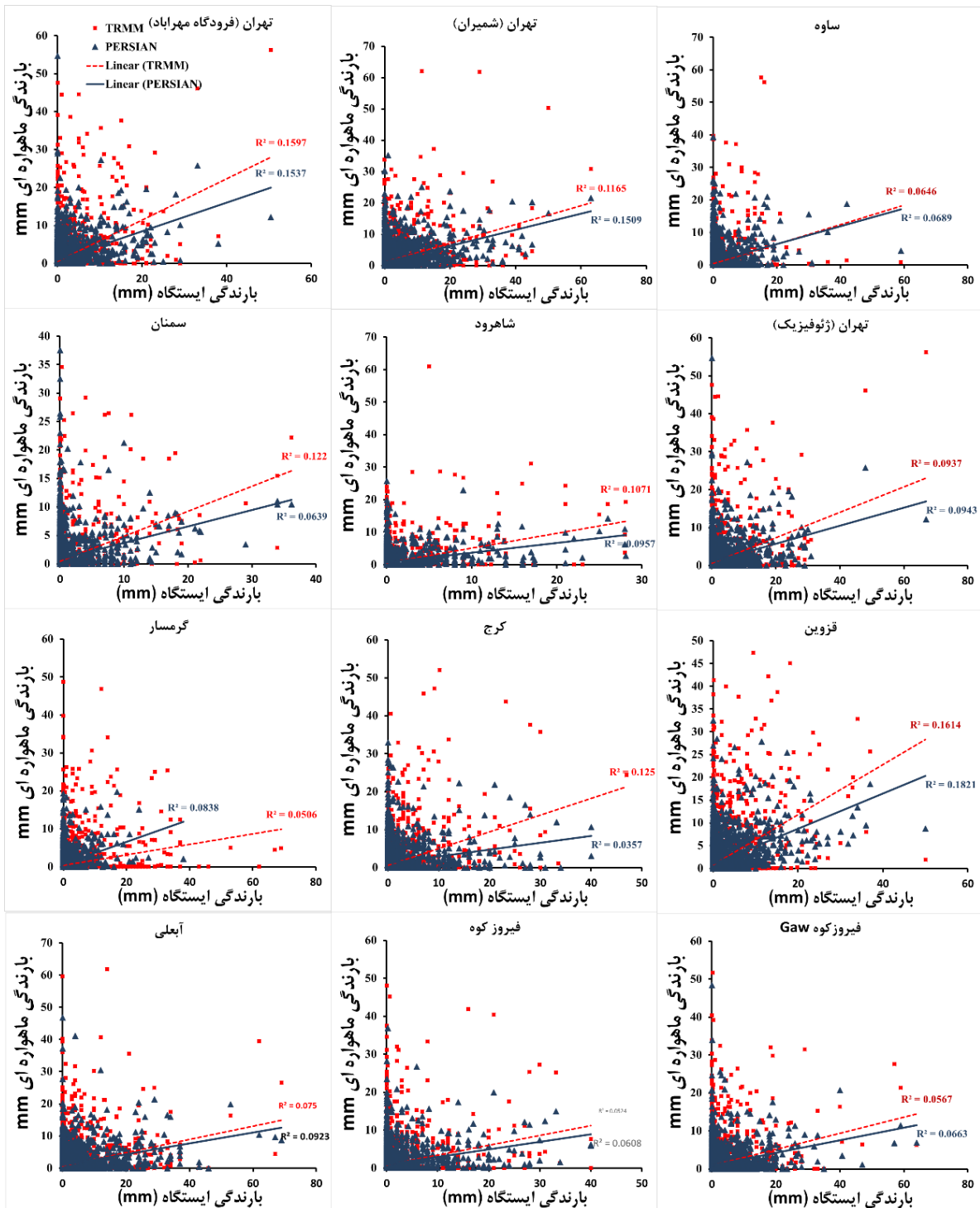
اما در مقیاس روزانه میزان اریب (Bias) و میزان تشخیص اشتباه بارندگی FAR داده‌های بارندگی TRMM مقادیر کمتری بدست آمده که نشان از عملکرد بهتر 3B42-v7 دارد و با نتایج گائو و همکاران (۲۰۱۸) که کمتر بودن اریب داده‌های TRMM-3B42 نسخه ۷ نسبت به CDR را بدست آوردند مطابقت دارد (گائو و همکاران، ۲۰۱۸). این موضوع را برجسته می‌کند که TRMM مقادیر بارندگی نزدیکتری و تعداد تشخیص اشتباه برآورد بارندگی کمتری در مقیاس روزانه با ایستگاه‌های زمینی دارد. همچنین مشخص شد که TRMM به میزان ۲۵ درصد و PERSIANN بیشتر از ۲ برابر روزهای بارانی را بیشتر از ایستگاه‌های زمینی در منطقه مورد مطالعه برآورد می‌کند. دلیل آن می‌تواند این موضوع باشد که بیشتر پوشش ابری که در آسمان ایجاد می‌شود به عنوان بارندگی محاسبه می‌کند بدون اینکه بارندگی ایجاد شود.



شکل ۲. بارش روزانه داده‌های ماهواره‌ای در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی به میلی‌متر



شکل ۳. آماره‌های مربوط به رخدادهای بارش روزانه کل دوره، در هر دو محصول ماهواره‌ای (3B42 و CDR)



شکل ۴. همبستگی بین داده‌های زمینی و محصولات ماهواره‌ای TRMM و PERSIANN در مقیاس روزانه

شکل (۴) نتایج همبستگی داده‌های ماهواره‌ای بارش و داده‌های بارش اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های زمینی، در مقیاس روزانه، طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد بیشتر همبستگی در داده‌های روزانه ایستگاه قزوین به ترتیب برای PERSIANN و TRMM برابر با ۰/۴۲ و ۰/۴ می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت ضریب همبستگی در مقیاس روزانه در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد که با نتایج تحقیقات دیگر محققان مشابه می‌باشد (المزویی، ۲۰۱۱؛ شارما و همکاران، ۲۰۰۳؛ سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین در ارتفاعات زیاد که معمولاً پوشیده از برف هستند، مانند ایستگاه‌های اُبعلی و فیروز کوه (GAW) میزان اریب داده‌ها منفی می‌باشد که نشان‌دهنده برآورد کم بارش ماهواره‌ای در ارتفاعات زیاد است که اغلب در ماه‌های سرد پوشیده از برف است. در این زمان‌ها سنجنده‌های میکروویو و مادون قرمز ماهواره بارندگی را به خوبی تشخیص نمی‌دهد که نشان‌دهنده این موضوع است که برآورد بارش ماهواره‌ای تحت تاثیر نیروهای عظیم همرفتی می‌باشد، که با نتایج مک کولام و همکاران (۲۰۰۲) که متوجه شدند الگوریتم میکروویو، در ماه‌های تابستان بارش را بیش از مقدار واقعی تخمین می‌زند و در ماه‌های زمستان تمایل به کم تخمین زدن آن را دارد (مک کولوم و همکاران، ۲۰۰۲) و همچنین نتایج جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) نیز که به کم برآورد کردن بارندگی ماهواره‌ای در ارتفاعات و منفی شدن اریب در این مناطق اشاره داشتند (جوانمرد و همکاران، ۲۰۱۰) مطابقت دارد.

سه شاخص آماری POD, FAR و CSI بر اساس مجموعه داده‌های روزانه در کل دوره، بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که داده‌های بارندگی ماهواره‌ای PERSIANN-CDR در بیشتر ایستگاه‌ها (سمنان، کرج، قزوین، گرمسار، تهران فرودگاه مهرآباد و شمیران) روزهای بارانی را بیش از ۸۰ درصد برآورد کرده است. در صورتی که در TRMM-3B42-۷۷ این درصد بسیار کمتر می‌باشد که برتری PERSIANN در مقایسه با TRMM را نشان می‌دهد در صورتی که تشخیص اشتباه بارندگی FAR در 3B42-۷۷ مقادیر کمتری دارد، بنابر این تعداد هشدار بارندگی اشتباه کمتر می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

برآورد قابل اعتماد بارش یکی از ضروری‌ترین نیازها در مدیریت منابع آب است. با این حال، در بسیاری از نقاط جهان، به ویژه ایران کمبود زمانی و مکانی داده‌های بارش بسیار محسوس است. لذا استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای یکی از راهکارهای پیشرو می‌باشد. مقاله حاضر، دقت TRMM-3B42 ۷۷ و PERSIANN-CDR اطلاعات ماهواره‌ای بارش در مقیاس روزانه را بررسی نمود. اطلاعات بارندگی ۱۲ ایستگاه در دامنه‌های جنوبی البرز در یک دوره آماری ۲۰۱۴-۲۰۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مربوط به مقایسه عملکرد دو پایگاه بارش نشان داد که میزان دقت آن بستگی به مقیاس زمانی و مکانی متفاوت می‌باشد. کمترین میزان همبستگی در داده‌های روزانه مربوط به ایستگاه فیروکوه می‌باشد که برای PERSIANN و TRMM به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۲۳ می‌باشد و بیشترین همبستگی مربوط به ایستگاه قزوین به ترتیب با مقادیر ۰/۴۳ و ۰/۴۰ می‌باشد.

مقادیر معیارهای آماری ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای مطلق میانگین (MAE) نشان‌دهنده کمینه اختلاف داده‌های بارش زمینی و برآوردهای PERSIANN-CDR می‌باشد و طبق این معیارها، مقیاس روزانه و تشخیص روزهای بارانی از غیربارانی عملکرد PERSIANN-CDR بهتر بوده است. می‌تواند به علت عملکرد مناسبتر سنسورهای مادون قرمز نسبت به ماکروویو غیر فعال باشد که در TRMM در ارتفاعات پوشیده از برف بارش را به اشتباه برف تلقی کرده و روز بارانی را ثبت نکرده است. در نتیجه بهتر است ارزیابی در مقیاس مکانی از لحاظ طبقات ارتفاعی و زمانی در فصول مختلف صورت گیرد و نیاز به واسنجی داده‌های هر دو محصول بارش ماهواره‌ای به صورت روزانه لازم است تا ورودی‌های قابل اعتمادتری به دست آید. تا در آینده بتوان از آن برای پروژه‌های کاربردی برآوردهای بلندمدت، مدل‌های هیدرولوژی مطالعات هواشناسی و موارد دیگر بهره برد. با توجه به مطالعات گسترده در زمینه ارزیابی محصولات ماهواره‌ای بارش، که در سراسر دنیا انجام گرفته و نتایج حاصل از این تحقیقات می‌توان نتیجه گرفت محصولات بارش ماهواره‌ای در شرایط آب و هوایی و ارتفاعات و عرض جغرافیایی متفاوت، دارای دقت‌های متفاوتی هستند. به همین دلیل لزوم بررسی

آنها در هر تنوع اقلیمی تحقیقی جداگانه می‌طلبند که نکته‌ای بسیار مهم است. بنابراین می‌توان با توجه به این تحقیق و تحقیق‌های دیگر به محققین پیشنهاد داد که ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای بارش را در اقلیم‌های مختلف، مقیاس‌های زمانی و مکانی و ارتفاعی مختلف انجام دهند. و با نتایج به دست آمده از این مطالعه، مقایسه شود.

References

- Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmospheric Research*, 99(3-4), 400-414.
- Darand, M., Amanollahi, J., & Zandkarimi, S. (2017). Evaluation of the performance of TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) estimation over Iran. *Atmospheric Research*, 190, 121-127.
- De Marchi, C. (2006). Probabilistic estimation of precipitation combining geostationary and TRMM satellite data (*Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology*).
- Gao, X., Zhu, Q., Yang, Z., & Wang, H. (2018). Evaluation and hydrological application of CMADS against TRMM 3B42V7, PERSIANN-CDR, NCEP-CFSR, and Gauge-Based Datasets in Xiang River Basin of China. *Water*, 10(9), 1225.
- Gómez, MRS. (2007). Spatial and temporal rainfall gauge data analysis and comparison with TRMM microwave radiometer surface rainfall retrievals. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede*. https://www.itcnl/library/papers_2007/msc/wrem/sandoval.pdf.
- Hobouchian, M. P., Salio, P., Skabar, YG., Vila, D., & Garreaud, R. (2017). Assessment of satellite precipitation estimates over the slopes of the subtropical Andes. *Atmospheric Research*, 190, 43-54.
- Huffman, GJ., & Bolvin, DT. (2015). Real-time TRMM multi-satellite precipitation analysis data set documentation. *NASA Tech. Doc*.
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, MI., BodaghJamali, J., & Kawamoto, H. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25, 119-125.
- Katiraie-Boroujerdy, P. S., Asanjan, A. A., Hsu, K. L., & Sorooshian, S. (2017). Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3b42v7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. *Atmospheric Research*, 193, 36-49.
- Mahmoud, MT., Hamouda, MA., & Mohamed, MM. (2019). Spatiotemporal evaluation of the GPM satellite precipitation products over the United Arab Emirates. *Atmospheric Research*.
- McCollum, J. R., Krajewski, W. F., Ferraro, R. R., & Ba, M. B. (2002). Evaluation of biases of satellite rainfall estimation algorithms over the continental United States. *Journal of Applied Meteorology*, 41(11), 1065-1080.
- Moazami, S., Golian, S., Kavianpour, M. R., & Hong, Y. (2013). Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 34(22), 8156-8171
- Palomino-Ángel, S., Anaya-Acevedo, J. A., & Botero, B. A. (2019). Evaluation of 3B42V7 and IMERG daily-precipitation products for a very high-precipitation region in northwestern South America. *Atmospheric Research*, 217, 37-48.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., ... & Friedlingstein, P. (2010). The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467(7311), 43.
- Sharma, S., Viswanathan, G., Rao, R., Sarma, D. K., & Konwar, M. (2003). Study of precipitating systems by doppler weather radar and tropical rainfall measuring mission precipitation radar. *Department of Physics, Kohima Science College, Jotsoma, Kohima, Nagaland, India*, 797-802.
- Sorooshian, S., AghaKouchak, A., Arkin, P., Eylander, J., Fofoula-Georgiou, E., Harmon, R., ... & Skofronick-Jackson, G. (2011). Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(10), 1353-1357.

- 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. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(9), 2035-2046.
- Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., Zeng, Z., Lian, Y., & Bai, X. (2018). Climate change enhances the severity and variability of drought in the Pearl River Basin in South China in the 21st century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 149-162.
- Wilks, D. S. (2006). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences (International Geophysics Series; V. 91). *Academic Press*. 216, 76-85.
- Worqlul, A. W., Yen, H., Collick, A. S., Tilahun, S. A., Langan, S., & Steenhuis, T. S. (2017). Evaluation of CFSR, TMPA 3B42 and ground-based rainfall data as input for hydrological models, in data-scarce regions: The upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Catena*, 152, 242-251.
- Yang, N., Zhang, K., Hong, Y., Zhao, Q., Huang, Q., Xu, Y., ... & Chen, S. (2017). Evaluation of the TRMM multisatellite precipitation analysis and its applicability in supporting reservoir operation and water resources management in Hanjiang basin, China. *Journal of hydrology*, 549, 313-325.
- Zhang, A., Xiao, L., Min, C., Chen, S., Kulie, M., Huang, C., & Liang, Z. (2019). Evaluation of latest GPM-Era high-resolution satellite precipitation products during the May 2017 Guangdong extreme rainfall event. *Atmospheric Research*, 216, 76-85.
- Zhang, Y., Sun, A., Sun, H., Gui, D., Xue, J., Liao, W., ... & Zeng, X. (2019). Error adjustment of TMPA satellite precipitation estimates and assessment of their hydrological utility in the middle and upper Yangtze River Basin, China. *Atmospheric Research*, 216, 52-64.
- Zhong, R., Chen, X., Lai, C., Wang, Z., Lian, Y., Yu, H., & Wu, X. (2019). Drought monitoring utility of satellite-based precipitation products across mainland China. *Journal of Hydrology*, 568, 343-359.