

Evaluation of PDIR-Now satellite-based precipitation data in Chaharmahal and Bakhtiari Province

Farnoosh Saniesales¹, Hoda Ghasemieh^{2*}, Saeed Soltani³, Reza Jafari⁴

¹ Former Ph.D. Student, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

² Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

³ Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract

Introduction

The first step in understanding basins is measuring different climatic and hydrological variables and examining their relationships. Primary variables include temperature, precipitation, evapotranspiration, water infiltration rate in the soil, flow discharge, etc. Meanwhile, precipitation is one of the most important and effective variables. The inappropriate distribution of rain gauge stations in different regions of developing countries, on the one hand, and the development of remote sensing sciences on the other hand, have led to the increasing use of precipitation products estimated from satellite images. Therefore, it is important to know the characteristics of these products and their possible errors. One of these products is Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks (PERSIANN) satellite-based precipitation data. Over time, this satellite product has been developed and introduced as PERSIANN-CCS and PERSIANN-CDR. One of the shortcomings of these products is that in humid and arid areas, they report underestimation and overestimation of precipitation, respectively. To solve this problem, PERSIANN product development experts designed a new product, the Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Dynamic Infrared Rain Rate near real-time (PDIR-Now) product, in 2019. This product creates a dynamic relationship between the precipitation rate and cloud brightness temperature by considering ground conditions affecting the precipitation phenomenon. This has led to significant advantages in this algorithm compared to other quantitative precipitation estimation algorithms.

Materials and Methods

In this research, the performance of the PDIR-Now product was analyzed. Chaharmahal and Bakhtiari Provinces, despite their small area, have about 10% of the country's water resources and play an essential role in supplying water resources for the neighboring provinces; therefore, it was chosen for this research. Its area is 16421 km², located in the southwest and part of the western mountainous belt of Iran, and with an average height of 2282.7 m above sea level, it is a high-altitude region in terms of topography. To conduct this research, 27 rain gauge, climatology, and synoptic stations that contained data for a common period (2005 to 2020) were selected and their precipitation information was collected monthly and annually, removing statistical deficiencies in some years. In the next step, PDIR-Now information was extracted at scales corresponding to the data of gauge stations on the reference site, and 208 received images were georeferenced and processed in the ArcMap environment. Then, these values were compared with the corresponding precipitation values of ground stations using three coefficients: Nash-Sutcliffe (NS), correlation (R), and relative bias (RB). In the next step, using the IDW geostatistics method, zoning maps of the province were created based on the correlation coefficient value, separately for each of the 12 months of the Gregorian year and also on an annual scale.

Results and Discussion

The results indicate that the best relationship between PDIR-Now and the precipitation data from ground stations is established in November, where 100% of the stations have an R higher than 0.5 at the 5% significance. Also, in this month, 88.8% of the stations recorded NS values greater than 0.5. The lowest level of correlation was related to May, where 33.3% of the stations had an R greater than 0.5, and 11.1% of the stations showed NS values greater than 0.5. In general, the best relationship is established between PDIR-Now data and ground station precipitation values in the rainy months, especially when rain dominates over other forms of atmospheric precipitation. The

weakest relationship is related to January in the rainy season (November to April). In this province, atmospheric precipitation in January is mostly in the form of snow. Since the characteristics of clouds, including surface temperature and brightness temperature, differ in rain and snow conditions, this could result in the lack of occurrence in January. Additionally, on an annual scale, 74.07% of the stations have an R greater than 0.5, and 55.5% recorded NS values above 0.5. The best correlation is for Armand station with coefficients of 0.63, 0.83, and 0.01 for NS, R, and RB, respectively. In contrast, the same coefficients for Bardeh station were less than 0.00, 0.35, and 0.356, respectively, indicating the lowest fit between the two data groups at this station.

Conclusion

The general results show that PDIR-Now performs better in the rainy season in the southern and central regions, which are located in the low-altitude areas of the province, where precipitation amounts approach the average. In the low-rainy season, stations with precipitation levels close to the average, rather than the minimum, yield better results. These results were consistent with the findings of other research conducted in this field in Iran and the world in the following ways: 1) PDIR-Now, like many other products, underestimates heavy rainfall but performs better in estimating low and medium rainfall. 2) The performance of most satellite-based precipitation products decreases for altitudes above 1000 m. 3) PERSIAANN satellite-based products are more accurate at the monthly scale than at the annual scale. Additionally, the relationship between ground station data and satellite products in the central regions of the province, which receive average rainfall, consistent with the results of this research. In the present study, the density of rain gauge stations was low in the steep and inaccessible parts of the province, and errors in rain gauge data recording remain a limitation. However, the number of long-term stations with sufficient statistical intervals in other regions is a significant advantage.

Keywords: Chaharmahal and Bakhtiari Province, Nash-Sutcliffe coefficient, PDIR-Now, Precipitation.

Article Type: Research Article

Acknowledgment

We would like to express our sincere gratitude to the University of Kashan for support who significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

The authors of the article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

The authors of the article have no permission to release data and codes.

Authors' contribution

Farnoosh Saniesales: Software and statistical analysis, writing and original draft preparation, manuscript editing; **Hoda Ghasemieh:** Supervision, conceptualization, manuscript review and editing, result control; **Saeed Soltani:** Conceptualization, manuscript review and investigation, result control; **Reza Jafari:** Visualization supervision.

*Corresponding Author, E-mail: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

Citation: Saniesales, F., Ghasemieh, H., Soltani, S., & Jafari, R. (2024). Evaluation of PDIR-Now satellite-based precipitation data in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(4), 151-182.
DOI: 10.22098/mmws.2023.13436.1337

Received: 05 August 2023, Received in revised form: 14 September 2023, Accepted: 14 September 2023, Published online: 14 September 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No.4, pp. 151-182

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)





ارزیابی داده‌های بارش ماهواره‌محور PDIR-Now در استان چهارمحال و بختیاری

فرونش صنیع ثالث^۱، هدی قاسمیه^{۲*}، سعید سلطانی^۳، رضا جعفری^۴

^۱ دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

^۳ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۴ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

پراکنش نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی در مناطق مختلف کشورهای در حال توسعه و گسترش علوم سنجش از دور سبب استفاده روزافزون از محصولات بارش برآورد شده از تصاویر ماهواره‌ای شده است. بنابراین، شناخت خصوصیات این محصولات و خطاهای احتمالی آن‌ها حائز اهمیت است. در این پژوهش، عملکرد محصول PDIR-Now که یکی از جدیدترین محصولات تولید شده از خانواده PERSIANN است بررسی شد. بدین منظور، داده‌های PDIR-Now (۲۰۸ تصویر) در بازه زمانی ۱۶ ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰) با داده‌های بارش ۲۷ ایستگاه زمینی اندازه‌گیری در مقیاس ماهانه و سالانه در استان چهارمحال و بختیاری مقایسه شدند. ارتباط بین داده‌های PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی با استفاده از ضرایب همبستگی، نش-ساتکلیف و بایاس بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که بهترین ارتباط بین PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی در ماه نوامبر برقرار است که ۱۰۰ درصد ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ داشته که در سطح پنج درصد معنادار هستند. همچنین، در این ماه، ۸۸/۸ درصد ایستگاه‌ها ضریب نش-ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۵ داشتند. کم‌ترین میزان ارتباط، مربوط به ماه مه بوده که ۳۳/۳ درصد از ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی بیش‌تر از ۰/۵ و ۱۱/۱ درصد از ایستگاه‌ها، ضریب نش ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۵ داشته‌اند. در مجموع بهترین رابطه بین داده‌های PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی در ماه‌های پر بارش و به‌ویژه ماه‌هایی که باران سهم بیش‌تری را نسبت به سایر ریزش‌های جوی داشته است، برقرار است. در مقیاس سالانه نیز، ۷۴/۰۷ درصد از ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بیش‌تر از ۰/۵ و ۵۵/۵ درصد نیز ضریب نش-ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۵ داشته و بهترین ارتباط برای ایستگاه ارمند با ضرایب ۰/۶۳، ۰/۸۳ و ۰/۱۰۱ به‌ترتیب برای نش-ساتکلیف، ضریب همبستگی و انحراف مدل بوده و همین ضرایب به‌ترتیب برای ایستگاه بارده برابر با کم‌تر از صفر، ۰/۳۵ و ۰/۳۵۶ به‌دست آمد که بیان‌گر کم‌ترین برازش بین دو گروه داده در این ایستگاه است. نتایج کلی نشان داد مقادیر برآوردی PDIR-Now در فصل پر بارش در نواحی جنوب و مرکز استان به مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک‌تر بوده، چرا که این نواحی در مناطق کم ارتفاع استان واقع شده و میزان بارندگی آن‌ها از مقادیر حدی فاصله داشته و به میانگین ماهانه نزدیک‌تر است.

واژه‌های کلیدی: استان چهارمحال و بختیاری، بارندگی، ضریب نش-ساتکلیف، PDIR-Now

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

استناد: صنیع ثالث، فرنوش، قاسمیه، هدی، سلطانی، سعید، و جعفری، رضا (۱۴۰۳). ارزیابی داده‌های بارش ماهواره‌محور PDIR-Now در استان چهارمحال و بختیاری. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۴)، ۱۵۱-۱۶۶.

DOI: 10.22098/MMWS.2023.13436.1337

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۴، صفحه ۱۵۱ تا ۱۶۶

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی © نویسندگان



۱- مقدمه

شناخت حوزه‌های آبخیز به‌منظور حفاظت منابع آب و خاک و ارائه برنامه‌ریزی مناسب در سطح حوزه آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است. اولین گام در راستای شناخت حوزه آبخیز، اندازه‌گیری متغیرهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژیکی و بررسی روابط موجود بین آن‌هاست. متغیرهای اولیه شامل دما، بارش، تبخیر-تعرق، میزان نفوذ آب در خاک، دبی جریان و غیره هستند. در این میان، بارش یکی از متغیرهای مهم و مؤثر برای بسیاری از کاربردها و رشته‌های مرتبط با منابع آب و سامانه ژئوفیزیک زمین بوده که عنصر اصلی در وقوع رخداد‌های شدید و سیل‌آساست (Mahmoudi Babolan et al., 2022) و تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر منطقه را دگرگون سازد (Rahimiani, 2022). از آنجایی که متغیر بارش از لحاظ مکانی و زمانی، تغییرات گسترده‌ای دارد و تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی بارش برای تعیین منحنی‌های رگبار پروژه استاندارد برای آن ناحیه و نیز سیل پروژه استاندارد ضروری است، باید اندازه‌گیری آن با دقت بالایی انجام شود (Duan and Bastiaanssen, 2013); (Vayskarami et al., 2022). اندازه‌گیری دقیق، صحیح و مستقیم بارش می‌تواند به‌طور مستقیم از ایستگاه‌های هواشناسی معمولی به‌دست آید، اما توزیع کم و نامناسب ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران می‌تواند منجر به نتایج ضعیف مکانی بارش شود (Javanmard et al., 2010). در کشورهای در حال توسعه، کمبود منابع مالی و فنی باعث می‌شود شبکه‌های باران‌سنجی به‌صورت پراکنده توزیع شوند و این امر منتج به عدم وجود اطلاعات دقیق بارش برای مدل‌سازی هیدرولوژیک و سایر اهداف می‌شود (Hughes, 2006). توسعه داده‌های بارش ماهواره‌محور گامی برای رفع این مشکل بوده و در سال‌های اخیر بر تنوع آن‌ها افزوده شده است. محصولات بارش ماهواره‌محور منابع ارزشمندی برای غلبه بر محدودیت‌های موجود برای مطالعات بارش در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف هستند (Sharifi et al., 2016). یکی از این محصولات، داده‌های بارش ماهواره‌محور PERSIANN^۱ است. در پژوهشی که توسط Hsu et al. (1997) در دانشگاه آریزونا اقدام به توسعه یک سیستم برای برآورد بارش از طریق اطلاعات سنجش از راه دور و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۲ نمودند که میزان بارندگی را با استفاده از امواج مادون قرمز در تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات سطح زمین تخمین می‌زند.

این مدل در ابتدا برای جزایر ژاپن واسنجی شد که برای این منظور از داده‌های سنجش از دور جمع‌آوری شده توسط ماهواره هواشناسی زمین ایستا (GMS)^۳ و داده‌های زمین‌محور به‌دست آمده از سیستم خودکار جمع‌آوری داده‌های هواشناسی (AMeDAS)^۴ استفاده شد. سپس این مدل برای جزایر مورد مطالعه اعتبارسنجی شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای محدود زمانی و یا مکانی مانند مقادیر اندازه‌گیری شده بارش زمین‌محور به‌روزرسانی شود. پس از آن، این محصول ماهواره‌ای توسعه یافت و با عنوان‌های PERSIANN-CCS^۵ و PERSIANN-CDR^۶ معرفی شد. با داشتن موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه، این محصولات در وب سایت مربوطه قابل دریافت هستند.

یکی از نواقص این محصولات این است که بسیاری از آن‌ها که براساس دمای بالای ابر هستند، در مناطق مرطوب، تخمین کم‌تر از حد و در مناطق خشک تخمین بیش از حد بارش را گزارش می‌دهند. برای رفع این مشکل در سال ۲۰۱۹ متخصصین توسعه‌دهنده محصولات PERSIANN اقدام به طراحی محصول جدید PDIR-Now^۷ نمودند. این محصول با در نظر گرفتن اطلاعات عارضه‌های زمینی تأثیرگذار در پدیده بارش، یک رابطه پویا بین نرخ بارش و دمای روشنایی ابر ایجاد می‌کند که این امر باعث پدید آمدن مزیت‌های قابل توجه در الگوریتم آن نسبت به سایر الگوریتم‌های تخمین کمی بارش شده است (Nguyen et al., 2020). از جمله این مزیت‌ها، اصلاح منحنی‌های نرخ بارش دمای روشنایی ابر با انتقال منحنی‌ها به راست و چپ، به‌ترتیب برای مناطق مرطوب و خشک بوده که در نهایت باعث رفع کم برآورد و بیش برآورد مقادیر بارش در این مناطق، که در نتیجه استفاده از الگوریتم‌های قدیمی‌تر پدید می‌آمد، می‌شود. از دیگر مزیت‌های این الگوریتم جدید، بالا رفتن کنتراست تصاویر برای تفکیک ابر بزرگ در ارتفاع پایین‌تر از ابر کوچک در ارتفاع بالاتر و تغییر در آستانه‌های دمایی به‌منظور تفکیک ابر گرم از عارضه‌های سطح زمین با دمای مشابه بوده است (Nguyen et al., 2020).

مقایسه محصولات بارش ماهواره‌ای و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی توسط پژوهش‌گران در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. به‌عنوان مثال Katirae Boroujerdy (2014) با هدف مقایسه داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی

^۵ PERSIANN- cloud classification system

^۶ PERSIANN- climate data record

^۷ PERSIANN dynamic infrared-rain rate model

^۱ Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks

^۲ Artificial neural network

^۳ Geostationary meteorological satellite

^۴ Automated meteorological data acquisition system

در مقیاس کشور ایران دریافت که PERSIANN بارش را در منطقه زاگرس کم و در کرانه دریای خزر به شدت کم و در مناطق خشک شرق کشور، زیاد برآورد می‌کند. در پژوهشی، Zubieta et al. (2015) به بررسی عملکرد سه محصول بارش ماهواره‌محور شامل TMPA¹، CMORPH² و PERSIANN در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی پرداختند و اثرات این مدل‌ها را روی تعادل آب در حوزه آبخیز آمازون غربی، مطالعه نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که TMPA، بارش را بیش از حد برآورد کرده در حالی که CMORPH و PERSIANN باران را در همان منطقه و در امتداد کوه‌های آندز به طور قابل توجهی کم برآورد نمودند. در پژوهشی دیگری، Tan and Santo (2018) اقدام به مقایسه شش گروه از محصولات بارش ماهواره‌محور شامل سه نوع داده از گروه GPM³ (IMERG_E، IMERG_L، IMERG_F) محصولات TMPA3B42 و 3B42RT محصولات PERSIANN-CDR، با داده‌های ۵۰۱ ایستگاه باران‌سنجی در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ نمودند. نتایج شاخص‌های آماری به دست آمده از این مقایسه‌ها نشان داد که IMERG بهترین سازگاری را در نشان دادن بارش‌های سبک (صفر تا یک میلی‌متر در روز) و PERSIANN-CDR با کم برآورد کردن بارش سبک و بیش برآورد بارش‌های متوسط و سنگین، ضعیف‌ترین سازگاری را در میان دیگر محصولات داشته است.

از سایر پژوهش‌ها، Tan et al. (2020) به مقایسه عملکرد سه مورد از تولیدات بارش شبکه‌بندی شده شامل APHRODIT⁴، CHIRPS⁵ و PERSIANN-CDR پرداختند. بدین منظور، این محصولات را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی فلات تبت و مناطق اطراف آن و نیز به کارگیری شاخص‌های آماری R^2 ، Bias، RMSE و MAE ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که APHRODITE نسبت به دو مورد دیگر با داشتن بالاترین مقدار ضریب همبستگی (۰/۹) با مشاهدات در مقیاس سالانه بهتر عمل کرده است. مدل CHIRPS عملکردی نزدیک به مدل APHRODITE داشته است ($R^2 = 0/8$). همچنین، یافته‌های این مطالعه بیان نمود که بهترین تولیدات بارش ماهواره‌محور در این منطقه، مدل APHRODITE است که برای مطالعات اقلیمی مناسب است و دو گروه دیگر قبل از استفاده نیاز به تصحیح و رفع نواقص دارند. در برزیل Sobral et al. (2020) از تولیدات سالانه

در مقیاس کشور ایران دریافت که PERSIANN بارش را در منطقه زاگرس کم و در کرانه دریای خزر به شدت کم و در مناطق خشک شرق کشور، زیاد برآورد می‌کند. در پژوهشی، Zubieta et al. (2015) به بررسی عملکرد سه محصول بارش ماهواره‌محور شامل TMPA¹، CMORPH² و PERSIANN در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی پرداختند و اثرات این مدل‌ها را روی تعادل آب در حوزه آبخیز آمازون غربی، مطالعه نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که TMPA، بارش را بیش از حد برآورد کرده در حالی که CMORPH و PERSIANN باران را در همان منطقه و در امتداد کوه‌های آندز به طور قابل توجهی کم برآورد نمودند. در پژوهشی دیگری، Tan and Santo (2018) اقدام به مقایسه شش گروه از محصولات بارش ماهواره‌محور شامل سه نوع داده از گروه GPM³ (IMERG_E، IMERG_L، IMERG_F) محصولات TMPA3B42 و 3B42RT محصولات PERSIANN-CDR، با داده‌های ۵۰۱ ایستگاه باران‌سنجی در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ نمودند. نتایج شاخص‌های آماری به دست آمده از این مقایسه‌ها نشان داد که IMERG بهترین سازگاری را در نشان دادن بارش‌های سبک (صفر تا یک میلی‌متر در روز) و PERSIANN-CDR با کم برآورد کردن بارش سبک و بیش برآورد بارش‌های متوسط و سنگین، ضعیف‌ترین سازگاری را در میان دیگر محصولات داشته است.

از سایر پژوهش‌ها، Tan et al. (2020) به مقایسه عملکرد سه مورد از تولیدات بارش شبکه‌بندی شده شامل APHRODIT⁴، CHIRPS⁵ و PERSIANN-CDR پرداختند. بدین منظور، این محصولات را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی فلات تبت و مناطق اطراف آن و نیز به کارگیری شاخص‌های آماری R^2 ، Bias، RMSE و MAE ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که APHRODITE نسبت به دو مورد دیگر با داشتن بالاترین مقدار ضریب همبستگی (۰/۹) با مشاهدات در مقیاس سالانه بهتر عمل کرده است. مدل CHIRPS عملکردی نزدیک به مدل APHRODITE داشته است ($R^2 = 0/8$). همچنین، یافته‌های این مطالعه بیان نمود که بهترین تولیدات بارش ماهواره‌محور در این منطقه، مدل APHRODITE است که برای مطالعات اقلیمی مناسب است و دو گروه دیگر قبل از استفاده نیاز به تصحیح و رفع نواقص دارند. در برزیل Sobral et al. (2020) از تولیدات سالانه

⁷ Middle Paraiba

⁸ Tropical applications of meteorology using satellite data and ground-based observations

⁹ Global precipitation climatology centre full daily data

¹⁰ Global precipitation measurement

¹ TRMM multisatellite precipitation analysis

² The climate prediction centre morphing technique

³ Global precipitation measurement

⁴ Asian precipitation-highly resolved observational data integration towards evaluation of water resources

⁵ The climate hazards group infrared precipitation with station

⁶ State of rio de janeiro

محصولات CHIRPS و PERSIANN-CDR عملکرد ضعیفی در تولید دقیق بسیاری از شاخص‌های بارش شدید داشته‌اند. جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که محصولات بارش ماهواره‌محور در مناطق مختلف با توجه به اقلیم و نوع عارضه‌های زمینی آن عملکرد متفاوتی داشته و قبل از استفاده در هر مطالعه‌ای باید ارزیابی شوند. از سوی دیگر محصولات قدیمی گروه PERSIANN در بسیاری از مناطق بارش را کم‌تر یا بیش‌تر برآورد نموده و PDIR-Now با هدف رفع این نواقص طراحی شد. در مطالعه حاضر با توجه به اهمیت استان چهارمحال و بختیاری در تأمین آب چند استان از کشور سعی می‌شود که خصوصیات محصول PDIR-Now در این استان بررسی شود. بخش زیادی از مساحت استان را مناطق کوهستانی و صعب‌العبور دربرگرفته و کمبود امکانات و ادوات پیشرفته اندازه‌گیری بارش در بیش‌تر مناطق آن نیاز به استفاده از بارش ماهواره‌محور را دوچندان کرده است. از آنجایی که PDIR-Now با هدف رفع نواقص محصولات قبلی طراحی شده‌است و تاکنون در هیچ مطالعه‌ای به ارزیابی این محصول در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته نشده است؛ بررسی خصوصیات آن در استان می‌تواند مسیر تازه‌ای برای مطالعات آتی باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان چهارمحال و بختیاری با وسعت ۱۶۴۲۱ کیلومتر مربع است که در جنوب‌غربی و در نوار کوهستانی غرب ایران قرار داشته و حدود یک درصد از مساحت کشور را شامل می‌شود. این استان با وجود مساحت کم، ده درصد از منابع آب کشور را در اختیار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. استان چهارمحال و بختیاری با میانگین ارتفاع ۲۲۸۲/۷ متر از نظر توپوگرافی یک سرزمین مرتفع کوهستانی است. بر این اساس حدود ۸۵ درصد از مساحت استان را کوه‌ها و تپه‌ها و ۱۵ درصد را دشت‌ها و تالاب‌ها تشکیل می‌دهد. بلندترین نقطه استان در شمال-غربی، زردکوه با ۴۱۹۸ متر و کم‌ارتفاع‌ترین نقاط آن در بخش‌های جنوب غربی، محل خروج کارون با ارتفاع حدود ۶۴۰ متر از سطح دریا است. توزیع بارش در استان از غرب به شرق کاهش می‌یابد، به طوری که میانگین بارش در غرب و شمال غرب استان بین ۷۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر و در نواحی مرکزی ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر و در

یامچی اردبیل کردند. نتایج نشان داد که GPM در مقیاس ماهانه و روزانه با توجه به MAE، RMSE و R از عملکرد بهتری برخوردار بوده است.

در پژوهشی (Hisam et al. (2023) در منطقه مدیترانه ترکیه، ارزیابی جامعی بین چند محصول بارش ماهواره‌محور از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ انجام دادند. این محصولات شامل GSMaP MVK، GSMaP Gauge، PERSIANN CSS، PDIR-Now، ERA5 و PERSIANN CDR، CHIRPS، IMERG v6 بودند. نتایج نشان داد که GSMaP Gauge، CHIRPS، IMERG v6، PERSIANN CDR و ERA5 در تمام جنبه‌های ارزیابی عملکرد خوبی داشتند، در حالی که محصولات PDIR-Now، GSMaP MVK و PERSIANN CCS در همه معیارها ضعیف عمل کردند. بیش‌تر محصولات، بارندگی‌های شدید را کم برآورد نموده‌اند. درحالی‌که در برآورد بارش‌های کم و متوسط عملکرد بهتری داشتند. نتایج آن‌ها نشان داد که GSMaP Gauge، CHIRPS، IMERG v6، PERSIANN CDR و ERA5 می‌توانند به‌عنوان منابع داده‌های بارش خوب و مکمل ایستگاه‌های هواشناسی زمینی در منطقه مدیترانه ترکیه استفاده شوند. در پژوهش دیگری که توسط Liu (2023) انجام شد، صحت ۱۶ محصول بارش ماهواره‌ای در فلات تبت که داده‌های بارش ثبت شده در آن کم است ارزیابی شد. برای این منظور از ضریب ارزیابی POD^۲ استفاده شد و نتایج آن برای تمامی محصولات برابر با ۰/۷۲ به‌دست آمد. در این میان، محصول MSWEP^۳ با POD برابر با ۰/۹۸ و سپس PERSIANN-CDR و IMERG با داشتن مقادیر POD بالای ۰/۸ در ارزیابی‌ها بالاترین رتبه را به خود اختصاص دادند. محصولات ماهواره‌محور GSMaP NRT نیز با داشتن POD کم‌تر از ۰/۴ ضعیف عمل کرده است. هم‌چنین، Dehaghani et al. (2023) عملکرد سه محصول بارش ماهواره‌محور PERSIANN-CCS، TRMM-3B42RT V7 و CMORPH در تخمین بارش کشور ایران را ارزیابی کرده و آریبی نسبی آن‌ها را رفع نموده‌اند. نتایج نشان داد که بالاترین عملکرد در مناطق غربی و جنوب-غربی برقرار شده و به‌طور کلی داده‌ها عملکرد خوبی در تخمین بارش در مناطق با تعداد ایستگاه باران‌سنجی کم نشان می‌دهند. در نهایت، Keikhosravi-Kiany et al. (2023) عملکرد چهار محصول بارش ماهواره‌محور را در ایران بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که محصول IMERG نسبت به سه محصول دیگر از نظر مکانی و زمانی، بارش‌های شدید را بهتر تخمین می‌زند.

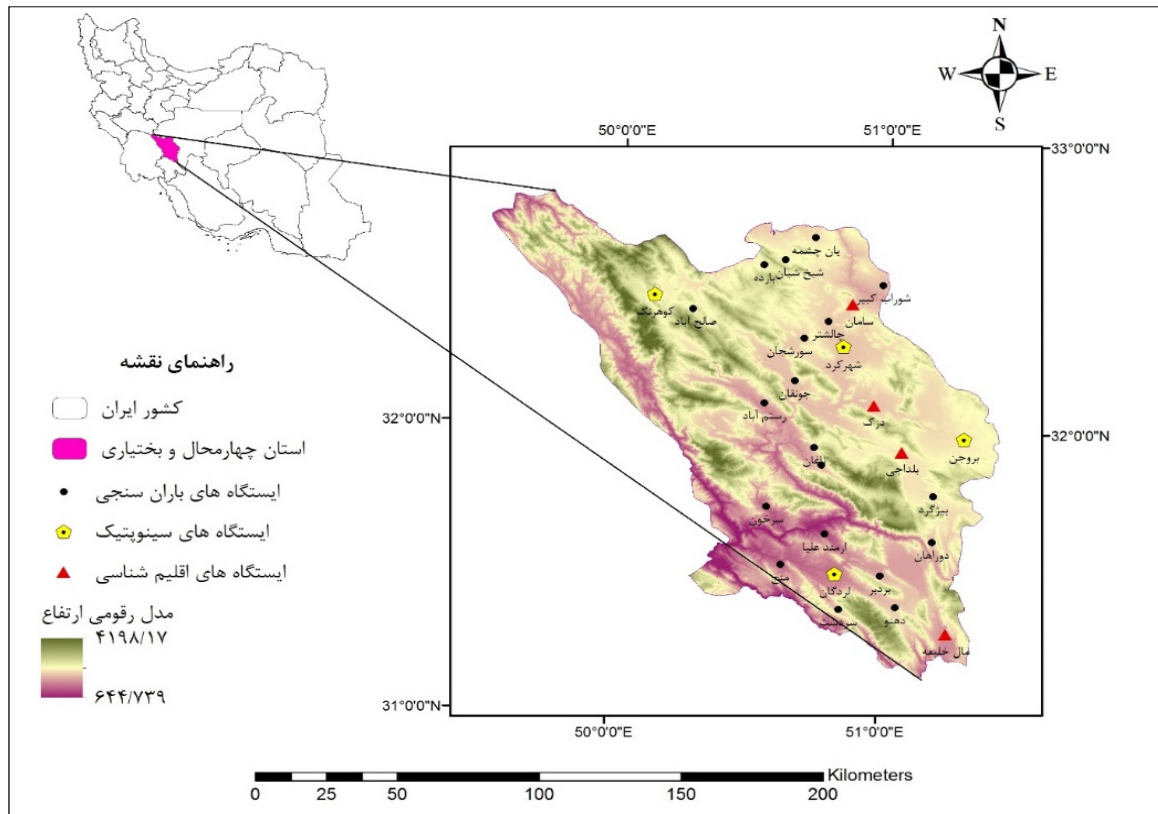
³ The multi-source weighted-ensembleprecipitation

¹ ReAnalysis product

² Probability of detection

ایستگاه‌ها در مناطقی با ارتفاع بیش‌تر از میانگین ارتفاعی استان (۲۲۸۲/۷ متر) و ۸۵/۷ درصد نیز در مناطقی با ارتفاع کم‌تر از میانگین استان واقع شده‌اند. شکل ۱ موقعیت استان و ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد.

شرق استان به ۳۰۰ میلی‌متر می‌رسد (Saniesales et al. 2021). در این پژوهش، ۲۷ ایستگاه اندازه‌گیری بارش با پراکنش مناسب در تمامی نواحی استان انتخاب شد؛ به گونه‌ای که مناطق با پستی و بلندی‌های مختلف را شامل می‌شوند. حدود ۱۴/۳ درصد از



شکل ۱- موقعیت استان چهارمحال و بختیاری و ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 1- Location of Chaharmahal & Bakhtiari Province and studied stations

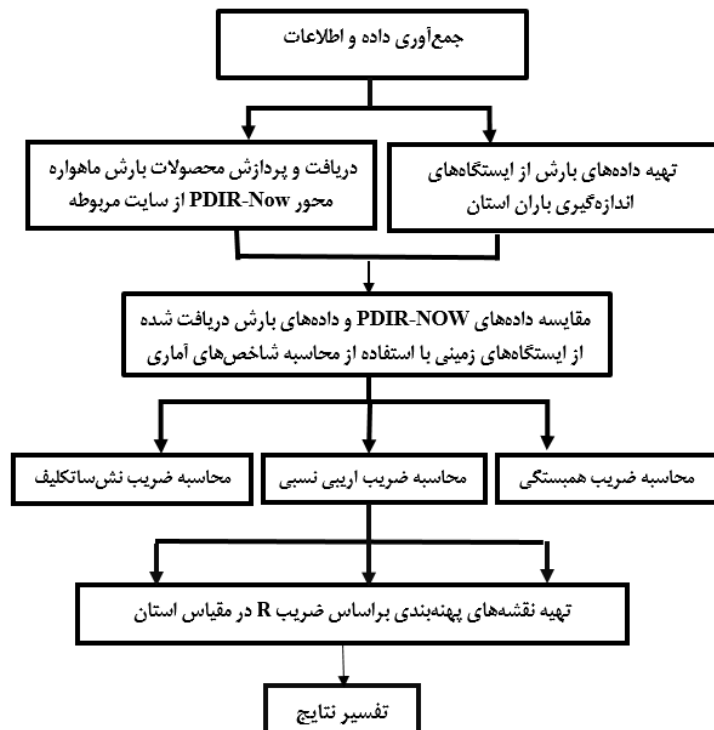
بارش ایستگاه‌های زمینی و PDIR-Now تهیه شدند. شکل ۲، نمودار جریانی انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.

۲-۲- روش‌ها

مراحل انجام پژوهش حاضر بدین صورت است که در ابتدا ۲۷ ایستگاه باران‌سنجی، اقلیم‌شناسی (کلیماتولوژی) و سینوپتیک در یک بازه زمانی مشترک (۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰) انتخاب شد. در ادامه، اطلاعات بارش ایستگاه‌های منتخب به صورت ماهانه و سالانه جمع‌آوری و نواقص آماری اندک موجود در برخی از سال‌ها رفع شد. سپس، اطلاعات PDIR-Now از طریق سایت مرجع و دریافت تصاویر در مقیاس‌های ماهانه و سالانه استخراج شد. در مرحله بعدی متناظر داده‌های ایستگاه‌های زمینی بارش و بارش ماهواره‌محور با استفاده از معیارهای ارزیابی خطا مقایسه شدند. در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی براساس میزان ضریب همبستگی بین

۲-۲-۱- شناسایی و انتخاب ایستگاه‌ها

در پژوهش حاضر ابتدا از مجموع ایستگاه‌های باران‌سنجی، اقلیم‌شناسی و سینوپتیک مستقر در استان، ۲۷ ایستگاه که دارای داده‌های طولانی مدت در یک بازه زمانی مشترک از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ میلادی بودند انتخاب شدند. موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۱ و جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲- نمودار جریانی روش انجام پژوهش

Figure 2- The flow chart of the research method

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of the studied stations

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
یان چشمه	باران سنجی	50.52	32.12	2238
شیخ شبان	باران سنجی	50.6	32.17	2414
ارمند علیا	باران سنجی	50.79	31.64	1355
رستم آباد	باران سنجی	50.53	32.53	1872
سرخون	باران سنجی	50.57	31.68	1469
بیژگرد	باران سنجی	51.19	31.78	2222
چهراز	باران سنجی	50.76	31.75	1950
شوراب کبیر	باران سنجی	50.98	32.37	1984
بردبر	باران سنجی	50.98	31.83	1877
دهنو	باران سنجی	51.06	31.39	2034
گرد بیشه (دوراهان)	باران سنجی	51.19	31.62	2030
سردشت	باران سنجی	50.83	31.78	2057
بارده	باران سنجی	50.53	32.57	2394
متج	باران سنجی	50.63	31.53	1442
صالح آباد	باران سنجی	50.27	32.41	2429
جوتقان	باران سنجی	50.66	32.17	2027
چالستر	باران سنجی	50.78	32.38	2100
سورسجان	باران سنجی	50.69	32.32	2130
ناغان	باران سنجی	50.74	31.94	2109
کوه رنگ	سینوپتیک اصلی	50.13	32.46	2365
لردگان	سینوپتیک اصلی	50.83	31.50	1611
شهرکرد	سینوپتیک فرودگاهی	50.84	32.29	2050
بروجن	سینوپتیک تکمیلی	51.30	31.98	2260
بلداجی	اقلیم شناسی	51.07	31.93	2231
دزک	اقلیم شناسی	50.96	32.09	2054
مال خلیفه	اقلیم شناسی	51.25	31.30	1762
سامان	اقلیم شناسی کشاورزی	50.87	32.44	2075

در رابطه بالا، R ضریب همبستگی، X_{O_i} داده‌های مشاهده‌ای، \bar{X}_{O_i} میانگین داده‌های مشاهده‌ای، X_{S_i} داده‌های شبیه‌سازی شده و \bar{X}_{S_i} میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده است.

(ب) انحراف مدل: این معیار تفاوت میانگین نسبی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است که هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی برازش بهتر مدل و مقدار صفر نشان‌دهنده‌ی شبیه‌سازی کامل داده‌هاست. همچنین، مقدار مثبت آن نشان‌دهنده‌ی بیش برآوردی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده‌ی کم‌برآوردی مدل مورد استفاده است. انحراف مدل بر اساس رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{S_i} - X_{O_i})}{\sum_{i=1}^N X_{O_i}} \quad (2)$$

در رابطه فوق، Bias انحراف مدل، X_{O_i} داده‌های مشاهده‌ای، \bar{X}_{O_i} میانگین داده‌های مشاهده‌ای، X_{S_i} داده‌های شبیه‌سازی شده و \bar{X}_{S_i} میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده است (Moriasi et al. 2007).

(ج) ضریب نش-ساتکلیف: معیار نش-ساتکلیف، استاندارد واریانس باقی‌مانده‌ها است و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. مقدار این معیار بین صفر و یک بوده، اما مقادیر منفی نیز برای آن وجود دارد. محدوده تغییرات ضریب نش-ساتکلیف از منفی بی‌نهایت تا یک می‌باشد (Dawson et al. 2007; Nash and Sutcliffe, 1979). در توصیف عملکرد مدل با استفاده از این ضریب، محدوده بین ۰/۷۵ تا یک بسیار خوب، بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ خوب، بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ رضایت‌بخش و کمتر از ۰/۵ غیرقابل قبول می‌باشد (Kult et al., 2014).

$$\text{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_{S_i} - X_{O_i})^2}{\sum_{i=1}^N (X_{O_i} - \bar{X}_{O_i})^2} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، NS ضریب نش-ساتکلیف، X_{O_i} داده‌های مشاهده‌ای، \bar{X}_{O_i} میانگین داده‌های مشاهده‌ای، X_{S_i} داده‌های شبیه‌سازی شده و \bar{X}_{S_i} میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده است.

۲-۲-۵- تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی میزان همبستگی بین بارش ایستگاه‌های زمینی و PDIR-Now

در مطالعات هیدرولوژیک برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از روش‌های مختلفی مانند درون‌یابی معکوس وزنی فاصله‌ای^۳ (IDW)، کریجینگ^۴ و Spline استفاده می‌شود. در این پژوهش پس از آزمون هر سه روش مذکور و محاسبه مقدار RMSE^۴، روش IDW با توان دو برای ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی میزان

۲-۲-۲- جمع‌آوری اطلاعات بارش ایستگاه‌های منتخب به صورت ماهانه و سالانه

اطلاعات بارش ایستگاه‌های منتخب به صورت ماهانه و سالانه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ میلادی جمع‌آوری شده و نواقص آماری اندک موجود در برخی از سال‌ها با استفاده از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها رفع شد. سپس به منظور سهولت انجام محاسبات، این داده‌ها در یک فایل اکسل به صورت سری، مرتب شد. همچنین، لایه نقطه‌ای مربوط به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

۲-۲-۳- استخراج و دست‌یابی به اطلاعات PDIR-Now

محصول PDIR-Now به صورت شبکه‌ای با تفکیک مکانی ۰/۴ درجه طول و عرض جغرافیایی بین ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی و به صورت برخط در دسترس است. این محصول در سال ۲۰۱۹ توسط مؤسسه تحقیقاتی کالیفرنیا طراحی شد. در واقع توسعه یافته محصولات قدیمی این مجموعه است. به منظور دست‌یابی به اطلاعات PDIR-Now می‌توان به سایت مرجع آن^۱ مراجعه نمود. در این مرحله باید نوع داده، بازه زمانی و مقیاس آن و در نهایت شیپ فایل مربوط به محدوده مورد نظر را بارگزاری کرده و تصاویر مورد نظر را دریافت نمود. در این پژوهش، جمعاً ۲۰۸ تصویر در مقیاس‌های ماهانه و سالانه دریافت شد. این تصاویر در محیط ArcMap زمین‌مرجع شده و سپس به کمک شیپ فایل نقطه‌ای ایستگاه‌ها، ارزش عددی پیکسل‌ها در تصاویر استخراج شد.

۲-۲-۴- مقایسه داده‌های زمینی بارش و بارش ماهواره‌محور با استفاده از معیارهای ارزیابی خطا

به منظور بررسی کارایی PDIR-Now، از مقایسه متناظر آن با داده‌های ایستگاه‌های زمینی با استفاده از ضرایب همبستگی، نش-ساتکلیف و بایاس استفاده شد که توضیحات مربوط به هر کدام به شرح زیر است:

(الف) ضریب همبستگی: ضریب همبستگی، نشان‌دهنده میزان همبستگی و درجه نزدیکی داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. مقدار آن از منفی یک تا مثبت یک متغیر است که هر چه به مثبت یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده برازش بهتر مدل است (Chicco et al. 2021).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{O_i} - \bar{X}_{O_i})(X_{S_i} - \bar{X}_{S_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{O_i} - \bar{X}_{O_i})^2 \sum_{i=1}^N (X_{S_i} - \bar{X}_{S_i})^2}} \quad (1)$$

³ Kriging

⁴ Root mean square errore

¹ <https://chrsdata.eng.uci.edu/>

² Inverse distance weighting

همبستگی بین PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی انتخاب شد و با استفاده از آن نقشه‌ها رسم شدند.

بیش‌ترین و کم‌ترین میزان ارتباط بین دو گروه بارش ایستگاه‌های زمینی و PDIR-Now را نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۳ نتایج پهنه‌بندی میزان همبستگی بین PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی را برای ماه‌های ژانویه تا دسامبر به تصویر کشیده است.

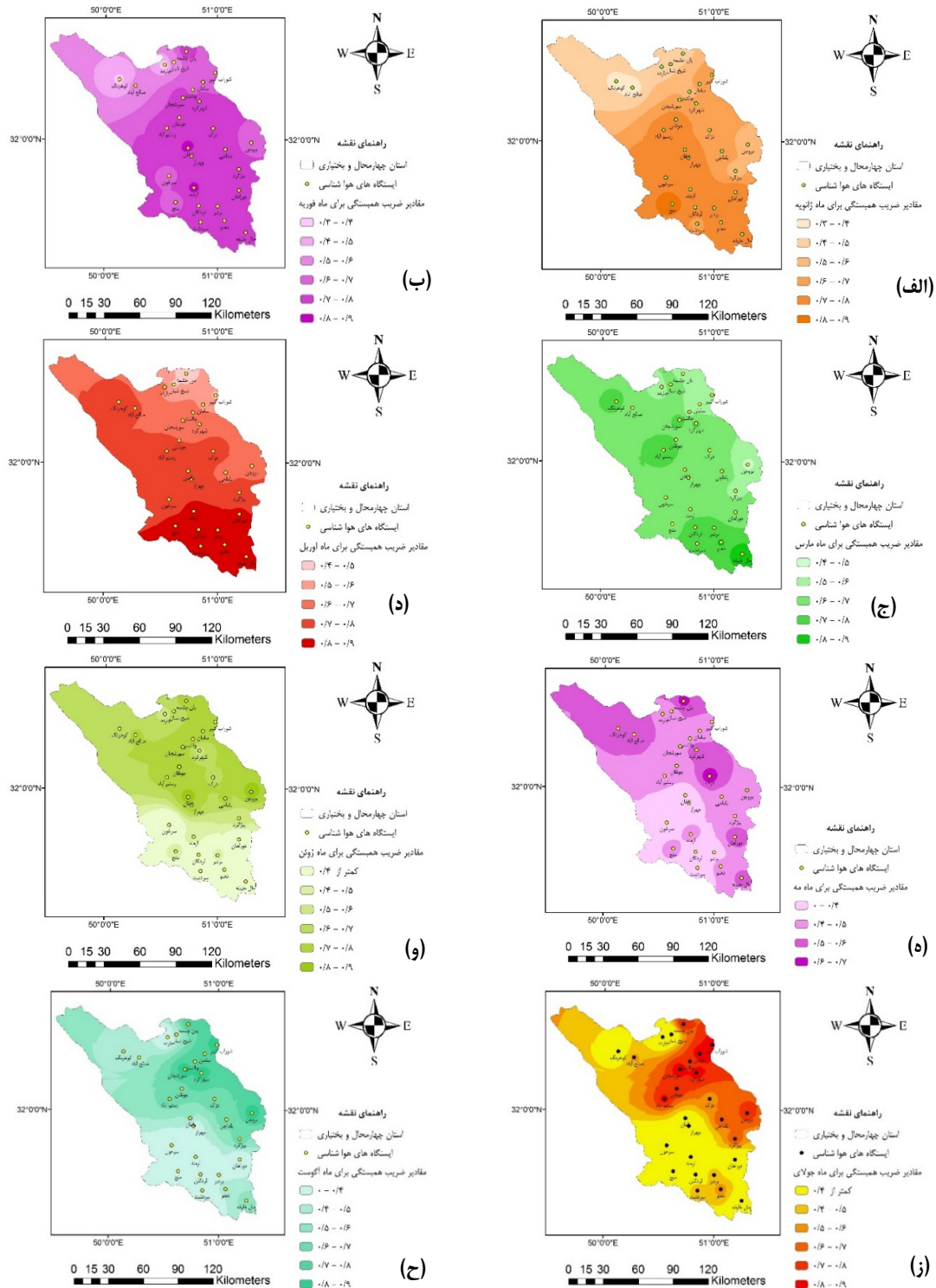
۳- نتایج و بحث

ضرایب همبستگی، نش-ساتکلیف و انحراف مدل برای تمامی ۲۷ ایستگاه منتخب در استان محاسبه شد. جدول ۲، نتایج

جدول ۲- نتایج بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ضرایب محاسبه شده در مقایسه داده‌های زمینی بارش و PDIR-Now
Table 2- The results of the highest and lowest values of the coefficients calculated in the comparison of the ground data of precipitation and PDIR-Now

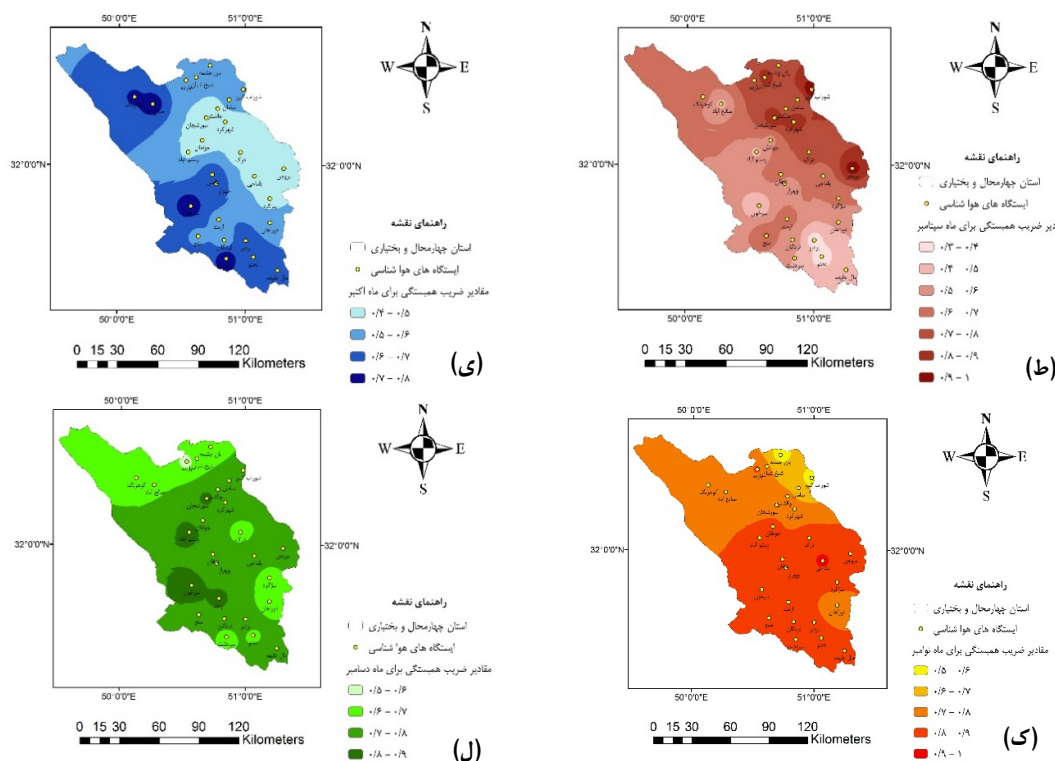
انحراف مدل	ضریب همبستگی	نش-ساتکلیف	نام ایستگاه	زمان (ماه)
0.05	0.85 **	0.62	منج	ژانویه
1.32	0.34 ns	کم‌تر از صفر	صالح آباد	فوریه
-0.07	0.84 **	0.68	ناغان	مارس
0.44	0.35 ns	کم‌تر از صفر	بارده	آوریل
-0.05	0.86 **	0.65	مال خلیفه	مه
0.46	0.48 ns	کم‌تر از صفر	بروجن	ژوئن
-0.03	0.90 **	0.76	مال خلیفه	ژوئیه
-0.48	0.42 ns	کم‌تر از صفر	یان چشمه	اوت
0.01	0.68 **	0.5	دزک	سپتامبر
0.79	0.23 ns	کم‌تر از صفر	سرخون	اکتبر
0.4	0.88 **	0.69	ناغان	نوامبر
1.97	0.17 ns	کم‌تر از صفر	سرخون	دسامبر
0.16	0.89 **	0.7	سامان	سالانه
مقادیر تعریف نشده	مقادیر تعریف نشده	مقادیر تعریف نشده	بیش از یک ایستگاه	
0.19	0.87 **	0.62	شوراب کبیر	
مقادیر تعریف نشده	مقادیر تعریف نشده	مقادیر تعریف نشده	بیش از یک ایستگاه	
0.01	0.98 **	0.73	شوراب کبیر	
1.46	0.33 ns	کم‌تر از صفر	دهنو	
-0.02	0.79 **	0.62	سردشت	
1.01	0.41 ns	کم‌تر از صفر	سورشجان	
-0.02	0.92 **	0.82	بلداجی	
-0.5	0.54 *	کم‌تر از صفر	یان چشمه	
-0.06	0.84 **	0.67	سرخون	
-0.48	0.56 *	کم‌تر از صفر	بارده	
0.01	0.83 **	0.54	ارمند	
0.35	0.35	کم‌تر از صفر	بارده	

ns به معنی عدم معناداری در سطوح اطمینان یک و پنج درصد، * به معنی معناداری در سطح اطمینان پنج درصد و ** به معنی معناداری در سطح اطمینان یک درصد.



شکل ۳- نتایج پهنه‌بندی میزان همبستگی بین PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی (الف) ژانویه، (ب) فوریه، (ج) مارس، (د) آوریل، (ه) مه، (و) ژوئن، (ز) ژوئیه و (ح) اوت

Figure 3- Zoning results of correlation between PDIR-Now and precipitation of gauge station (a) January, (b) February, (c) March, (d) April, (e) May, (f) June, (g) July, and (h) August



ادامه شکل ۳- نتایج پهنه‌بندی میزان همبستگی بین PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی (ط) سپتامبر، (ی) اکتبر، (ک) نوامبر و (ل) دسامبر

Continued Figure 3- Zoning results of correlation between PDIR-Now and precipitation of gauge station (i) September, (j) October, (k) November, (l) and December

نکته حائز اهمیت در ماه نوامبر این است که ۸۵/۷ درصد از ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بیش‌تر از ۰/۷ داشته‌اند. زیرا در این ماه نوع ریزش جوئی در بیش‌تر مناطق استان باران است (و نه برف) و این بارش دریافتی از مقادیر حدی فاصله داشته و به مقدار میانگین نزدیک است. بنابراین، بهترین ارتباط بر مبنای ضرایب محاسبه شده در این ماه به‌دست آمده است. بالاترین مقدار ضریب همبستگی برای ایستگاه بلداجی در ماه نوامبر است. ایستگاه بلداجی با ارتفاع ۲۲۳۱ متر از سطح دریا به لحاظ ارتفاعی در محدوده میانگین ارتفاع استان واقع شده و بارش سالانه آن حدود ۴۰۰ میلی‌متر بوده که نزدیک به مقدار میانگین است. مجموعه این عوامل باعث شده تا بارش دریافتی آن در ماه نوامبر به مقدار میانگین نزدیک باشد و PDIR-Now بتواند مقدار بارش را در آن بهتر از سایر ایستگاه‌ها برآورد نماید. در فصول پر بارش استان، ضعیف‌ترین ارتباط بین بارش ایستگاه‌های زمینی و PDIR-Now مربوط به ماه ژانویه است. در این ماه، ۸۴/۶ درصد از ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ داشتند که در سطح پنج درصد معنادار بوده و ۵۵/۵ درصد نیز ضریب نش-ساتنکلیف بیش از ۰/۵

نتایج محاسبه ضریب همبستگی در مقیاس سالانه برای ۲۷ ایستگاه استان در نرم‌افزار ArcMap به‌صورت پهنه‌بندی ترسیم شد. با توجه به یافته‌های به‌دست آمده از نتایج ضرایب و نقشه‌های ترسیم شده، نتایج به شرح زیر بیان می‌شود:

در فصول پر بارش استان که تقریباً از ماه نوامبر تا ماه آوریل ادامه دارد، در مناطق جنوبی و مرکز استان و به‌طور دقیق‌تر در مناطق با ارتفاع کم‌تر که بارش آن‌ها به میانگین نزدیک است؛ بهترین ارتباط (طبق ضرایب ارزیابی) و مناطق شدیداً مرتفع استان که بارش دریافتی آن‌ها حداکثر بوده، ضعیف‌ترین ارتباط برقرار است. در فصول گرم و کم بارش سال یعنی از ماه مه تا اکتبر نیز بالاترین میزان ارتباط مربوط به ایستگاه‌هایی است که در این بازه زمانی، بارش آن‌ها غیر صفر بوده و ضعیف‌ترین ارتباط برای ایستگاه‌هایی است که هیچ بارشی در ماه مورد نظر نداشته‌اند. به بیان دقیق‌تر در فاصله بین ماه نوامبر تا آوریل، بهترین ارتباط در ماه نوامبر برقرار است که ۱۰۰ درصد ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ داشته که در سطح پنج درصد معنادار بوده و ۸۸/۸ درصد ایستگاه‌ها نیز ضریب نش-ساتنکلیف بالاتر از ۰/۵ دارند.

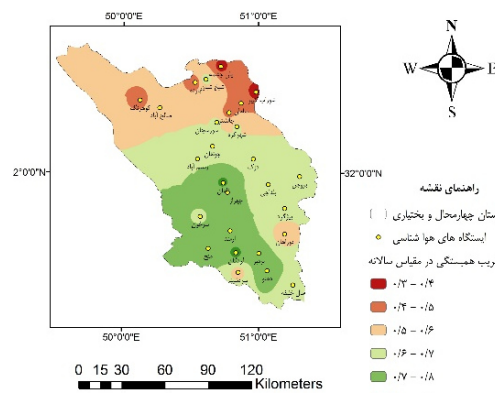
صفر بسیار کم است و معمولاً برای هر روز یک عدد بارش ثبت می‌شود. در بسیاری از روزهایی که در طبیعت بارش صفر است، مشاهده می‌شود که برای تولیدات بارش ماهواره‌محور عدد یک ثبت شده است. این مسأله در ماههایی که تعداد روزهای دارای بارندگی ثبت شده زیاد است منجر به افزایش میزان همبستگی بین دو گروه داده می‌شود که در این مطالعه در فصل پربارش، برای ماه نوامبر چنین نتیجه‌ای حاصل شده است. در این بازه زمانی، بهترین نتایج ضرایب آماری برای ایستگاه‌هایی است که در مناطق با ارتفاع کم‌تر واقع شده و به لحاظ موقعیت جغرافیایی در مرکز و نواحی از جنوب استان قرار دارند، چرا که میزان بارندگی دریافتی آن‌ها به میانگین نزدیک بوده و نسبت به مناطق شدیداً مرتفع استان که بارش‌های شدیدتری دریافت می‌کنند، بارش کم‌تری دارند.

در فصول کم‌بارش سال، بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه‌هایی است که علاوه بر دارا بودن بارش در این بازه زمانی، مقدار بارش نیز کم و متوسط باشد. به‌عنوان مثال در ماه مه بالاترین مقدار همبستگی متعلق به ایستگاه دزک است ($R = 0/68$, $NS = 0/5$ و $Bias = 0/01$). ایستگاه‌هایی که در مناطق با ارتفاع کم‌تر واقع شده‌اند، در این ماه روزهای بارانی یا نداشته و یا تعداد روزهای بارانی بسیار کم است. در نتیجه میزان ارتباط آن‌ها با PDIR-Now به شدت کاهش می‌یابد. از طرف دیگر در ماه مه، مقادیر PDIR-Now ایستگاه‌های واقع در مناطق شدیداً کوهستانی کم‌تر از مقدار ثبت شده برآورد شده و باعث می‌شود که ضریب همبستگی برای این مناطق نیز کم‌تر باشد. بنابراین، بالاترین مقادیر ضریب همبستگی در مقیاس ماهانه متعلق به ایستگاه‌هایی است که علاوه بر بالا بودن تعداد روزهای دارای بارش، مقادیر بارش کم و متوسط باشند (مانند ایستگاه دزک). نکته مهمی که در این پژوهش حاصل شد این است که PDIR-Now نمی‌تواند مقادیر بارش بسیار شدید و یا بسیار کم را به‌خوبی برآورد کند و این محصول جدید PERSIANN، یعنی PDIR-Now علی‌رغم پیش‌بینی‌های صحیح در بیش‌تر مناطق استان، همچنان بارش‌های حدی را که در مناطق شدیداً کوهستانی رخ می‌دهد، نمی‌تواند به‌خوبی برآورد کند. بنابراین، مقادیر ضرایب همبستگی و نش-سانتکلیف کاهش و اریبی نسبی آن‌ها افزایش یافته است. اساس تولید این داده بارش ماهواره‌محور تصاویر مادون قرمز و دمای روشنایی ابر است.

در PDIR-Now حداکثر آستانه دمای روشنایی ابر، ۲۷۳ کلون در نظر گرفته شده است. در مناطق شدیداً کوهستانی به‌علت زیاد بودن گرادیان قائم بارش ممکن است در مسافت کوتاهی تغییرات بارشی شدید دیده شود. به‌طوری‌که گرادیان در این مناطق ممکن است به ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بر کیلومتر برسد،

داشتند. در ماه ژانویه، بیش‌ترین نوع ریزش جوی استان از نوع برف است و همین امر باعث شده تا در این ماه، کم‌ترین میزان ارتباط بین دو گروه داده برقرار شود. در ماه ژانویه، کم‌ترین ضریب همبستگی (بین ۰/۳ تا ۰/۴)، ضریب نش-سانتکلیف (۱/۳۵-) و اریبی نسبی (۱/۳۲) مربوط به ایستگاه‌های کوه‌رنگ، بارده و صالح‌آباد بوده که از نظر ارتفاعی در مناطق شدیداً مرتفع استان واقع شده‌اند.

در فصول کم بارش استان یعنی فاصله بین ماه مه تا اکتبر، ضعیف‌ترین ارتباط مربوط به ماه مه بوده که در آن تنها ۳۳/۳ درصد از ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی بالای ۰/۵ و ۱۱/۱ درصد از آن‌ها، ضریب نش-سانتکلیف بیش از ۰/۵ دارند. شکل ۴، نقشه پهنه‌بندی استان بر مبنای ضریب همبستگی در مقیاس سالانه را نشان می‌دهد. در این مقیاس، ۷۷/۷ درصد ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ و ۵۵/۵ درصد نیز ضریب نش-سانتکلیف بیش‌تر از ۰/۵ دارند.



شکل ۴ - نتایج پهنه‌بندی میزان همبستگی بین PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی در مقیاس سالانه

Figure 4- Zoning results of correlation between PDIR-Now and precipitation of gauge station on an annual scale

نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که در میان ماه‌هایی که در فصل پربارش قرار دارند (از ماه نوامبر تا آوریل)، بهترین ارتباط بین دو گروه داده در ماه نوامبر و ضعیف‌ترین ارتباط در ماه ژانویه برقرار شده است. در این استان در ماه ژانویه، ریزش‌های جوی بیش‌تر به شکل برف است. از آنجایی‌که ویژگی‌های ابر، از جمله دمای سطح ابر دمای روشنایی و غیره در شرایط باران و برف با هم متفاوت هستند، می‌تواند منجر به بروز این عدم همبستگی در ماه ژانویه شده باشد. در مقابل در ماه نوامبر علاوه بر تفاوت در نوع ریزش جوی نسبت به ژانویه، که بارش بیش‌تر به شکل باران است، تعداد روزهای دارای بارش نیز بیش‌تر هستند. در تولیدات بارش ماهواره‌محور، تعداد روزهای با بارش

نسبت به مقیاس سالانه برخوردار است. همچنین، ارتباط بین ایستگاه‌های زمینی و محصولات ماهواره‌ای در مناطق مرکزی استان که بارش میانگین را دریافت می‌کنند، بهتر است که با نتایج به دست آمده در این پژوهش تطابق دارد.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی PDIR-Now نمی‌تواند مقادیر بارش بسیار شدید و با بسیار کم را به‌خوبی برآورد کند و این محصول جدید PERSIANN، علی‌رغم پیش‌بینی‌های صحیح در بیش‌تر مناطق استان، همچنان بارش‌های حدی را که در مناطق شدیداً کوهستانی رخ می‌دهد به‌خوبی تخمین نزده است. بنابراین، مقادیر ضرایب همبستگی و نش-ساتکلیف کاهش و اریبی نسبی آن‌ها افزایش یافته است. لذا پیشنهاد می‌شود قبل از استفاده از این محصول در هر مطالعه هیدرولوژی، ابتدا ارزیابی شده و سپس به رفع اریبی احتمالی آن پرداخته شود. در پژوهش حاضر که در یکی از مناطق مرتفع کشور صورت گرفته است، در بخش‌های پرشیب و صعب‌العبور تراکم ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران کم است. همچنین، احتمال خطا در ثبت داده‌های باران‌سنجی وجود دارد که از نقاط ضعف این پژوهش است، اما در مقابل در این استان تعداد ایستگاه‌هایی که دارای آمار طولانی مدت بارندگی در یک بازه مشترک باشند، در سایر مناطق استان کافی بوده که از مزیت‌های این پژوهش است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه کاشان به‌دلیل حمایت‌هایی که به‌طور قابل توجهی در طول پروژه تحقیقاتی کمک کردند، صمیمانه تشکر می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

نویسندگان مقاله، هیچ مجوزی برای انتشار داده‌ها و کدها ندارند.

مشارکت نویسندگان

فرونش صنایع ثالث: تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله و ویرایش آن؛ هدی قاسمی: راهنمایی، مفهوم‌سازی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ سعید سلطانی: مفهوم‌سازی، بازبینی مقاله، کنترل نتایج؛ رضا جعفری: راهنمایی و نظارت.

ولی در داده‌های PDIR-Now در یک محدوده ۱۶ کیلومتر مربعی (اندازه هر پیکسل در این داد چهار در چهار کیلومتر است) تنها یک عدد متوسط در نظر گرفته شود که نمی‌تواند بیان‌گر تغییرات در مناطق شدیداً کوهستانی باشد. این موضوع برای مناطق کم‌ارتفاع نیز صدق می‌کند. بنابراین، می‌تواند علت بروز تفاوت بین PDIR-Now و بارش ایستگاه‌های زمینی باشد. به‌همین علت است که در مسائل هیدرولوژیک برآورد بارش متوسط یک منطقه در مناطق مسطح و دارای تغییرات ارتفاعی کم از روش چندضلعی تیسن به‌منظور محاسبه میانگین بارش منطقه استفاده می‌شود. ولی در مناطق با تغییرات ارتفاعی بیش‌تر، استفاده از روش تیسن نتیجه مناسبی نمی‌دهد (به‌دلیل اثر شدید ارتفاع در گرادیان بارش) و به‌همین دلیل از روش خطوط هم‌باران که اثر گرادیان قائم بارش را بهتر نشان می‌دهد، استفاده می‌شود. در این پژوهش نتایج ضرایب در مقیاس سالانه نسبت به برخی از ماه‌ها، ارتباط ضعیف‌تری را نشان داده است. در مقیاس ماهانه در پنج ماه از سال، حدود ۸۰ درصد ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ دارند. در صورتی که در مقیاس سالانه، ۷۷ درصد ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ دارند. علت این است که در مقیاس سالانه اثر ماه‌هایی که فاقد بارش بوده‌اند و در نتیجه ضرایب آماری آن‌ها کم و غیرقابل‌قبول بوده است، تأثیر خود را در ضریب مربوط به مقیاس سالانه نشان داده و باعث شده که نتایج ضرایب آماری در مقیاس سالانه کاهش یابد.

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های (Hisam et al. (2023) در راستای عملکرد ضعیف PDIR-Now در مقایسه با چند محصول بارش ماهواره‌محور دیگر تطابق دارد. در پژوهش مذکور نیز مانند پژوهش حاضر PDIR-Now هم‌چون بسیاری دیگر از این محصولات بارندگی‌های شدید را کم برآورد نموده، اما در برآورد بارش‌های کم و متوسط عملکرد بهتری داشته است. ایشان بیان کردند که عملکرد اکثر محصولات بارش ماهواره‌محور برای ارتفاعات بیش از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج به‌دست آمده توسط (Shokri et al. (2020) از نظر تأثیر ارتفاع بر نتایج همبستگی نیز منطبق بوده است. آن‌ها در مطالعه خود دریافتند که علت بهتر بودن نتایج همبستگی بین محصول ماهواره PERSIANN و ایستگاه‌های زمینی در مناطق با ارتفاع کم‌تر این است که صحت الگوریتم‌های بارش ماهواره‌محور با افزایش ارتفاع کاهش یافته و بارش‌های اروگرافیک یا کوهستانی را به‌دلیل تأثیری که ارتفاعات بر فرآیند بارش دارد، نمی‌توانند به درستی تشخیص بدهند و بارش آن را تخمین بزنند. نتایج این پژوهش با یافته‌های (Ghorbani et al. (2020) نیز منطبق است. آن‌ها نیز دریافتند که برآورد بارش توسط PERSIANN و PERSIANN-CDR در مقیاس ماهانه از صحت بیش‌تری

منابع

- کتیرایی بروجردی، پری‌سیما (۱۳۹۲). مقایسه داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیاد روی ایران. *ژئوفیزیک/ایران*، ۷(۴)، ۱۴۹-۱۶۰. doi:20.1001.1.20080336.1392.7.4.10.0
- کنزی حق، مهدی، فیضی، اتابک، هوشیاری‌پور، فرهاد، و رانی نظامی، سید سعید (۱۴۰۱). ارزیابی دقت محصولات بارش ماهواره‌ای در تخمین بارش‌های مربوط به ماه‌های سیلابی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد یامچی اردبیل). *اکوهیدرولوژی*، ۹(۲)، ۳۳۱-۳۱۷. doi:10.22059/IJE.2022.335393.1588
- محمودی بابلان، سجاده، نسترنی عموقین، سعید، و رسول‌زاده، علی (۱۴۰۱). ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای جهت برآورد رخدادهای بارشی سنگین در نوار ساحلی دریای خزر. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۱۰۷-۱۲۲. doi:10.22098/mmws.2022.11147.1102
- ویس کرمی، ایرج، پیامنی، کیانفر، و جعفرزاده، مریم سادات (۱۴۰۱). کاربرد روش‌های زمین‌آمار در تعیین منحنی‌های عمق-مدت-مساحت بارندگی (استان لرستان). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۱۷-۲۶. doi:10.22098/mmws.2022.9843.1067
- رحیمیانی ایرانشاهی، حمید، مرادی، حمیدرضا، و جلیلی، خلیل (۱۴۰۱). روند تغییرات بارش و دما در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوزه آبخیز کرخه. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۱-۱۲. doi:10.22098/mmws.2022.9520.1048
- شکری کوچک، سعید، آخوندعلی، علی محمد، و شریفی، محمدرضا (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN و PERSIANN-CDR و بررسی تأثیر ناهمواری‌ها بر آن (مطالعه موردی: حوضه آبریز حله). *اکوهیدرولوژی*، ۷(۳)، ۵۱۱-۵۲۷. doi:10.22059/ije.2020.299034.1301
- صنیع ثالث، فرنوش، سلطانی، سعید، و مدرس، رضا (۱۴۰۰). ارزیابی شاخص خشکسالی جدید SPDI (Standardized Palmer Drought Index) در استان چهارمحال و بختیاری. *علوم آب و خاک*، ۲۵(۳)، ۱-۱۲. doi:10.47176/jwss.25.2.36821
- قربانی، لیلا، جعفری، رضا، و بشیری، حسین (۱۳۹۸). بررسی کارایی تولیدات PERSIANN و PERSIANN-CDR در برآورد بارش مناطق نیمه‌خشک زاگرس. *مدیریت بیابان*، ۱۴، ۱۵-۲۸. doi:10.22034/JDMAL.2020.38472
- precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25, 119-125. doi:10.5194/adgeo-25-119-2010
- Hisam, E., Mehr, A.D., Alganci, U. and Seker, D.Z., (2023). Comprehensive evaluation of Satellite-Based and reanalysis precipitation products over the Mediterranean region in Turkey. *Advances in Space Research*, 71(7), 3005-3021. doi:10.1016/j.asr.2022.11.007
- Hughes, D.A. (2006). Comparison of satellite rainfall data with observations from gauging station networks. *Journal of Hydrology*, 327(3-4), 399-410. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.11.041
- Houngue, N.R., Ogbu, K.N., Almoradie, A.D.S., & Evers, M. (2021). Evaluation of the performance of remotely sensed rainfall datasets for flood simulation in the transboundary Mono River catchment, Togo and Benin. *Journal of Hydrology*, 36, 100875. doi:10.5194/egusphere-egu21-11176
- Hsu, K.L., Gao, X., Sorooshian, S., & Gupta, H.V. (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9), 1176-1190. doi:10.1175/1520-0450(1997)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2
- Kanzi Hagh, M., Feizi, A., Hooshyaripor, F., & Rasi Nezami, S. (2022). Evaluation of the accuracy of satellite precipitation products based on measurement of precipitation related to flood months (Case study: Ardabil Yamchi Dam Basin). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 9(2), 317-331. doi:10.22059/IJE.2022.335393.1588. [In Persian]

References

- Chicco, D., Warrens, M.J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, p.e623. doi:10.7717/peerj-cs.623
- Dawson, C.W., Abrahart, R.J., & See, L.M. (2007). HydroTest: a web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. *Environmental Modelling & Software*, 22(7), 1034-1052. doi:10.1016/j.envsoft.2006.06.008
- Dehaghani, A.M., Gohari, A., Zareian, M.J., & Haghghi, A.T. (2023). A comprehensive evaluation of the satellite precipitation products across Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101360. doi:10.1016/j.ejrh.2023.101360
- Duan, Z., Bastiaanssen, W.G.M. (2013). First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling-calibration procedure. *Remote Sensing of Environment*, 131, 1-13. doi:10.1016/j.rse.2012.12.002
- Ghorbani, L., Jafari, R., Bashari, H. (2020). Evaluating the performance of PERSIANN and PERSIANN-CDR satellite products in precipitation estimation in semi-arid Region of Zagros. *Desert Management and Control*, 7(14), 15-28. doi:10.22034/JDMAL.2020.38472. [In Persian]
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M.I., BodaghJamali, J., Kawamoto, H. (2010). Comparing high-resolution gridded

- Katiraie Boroujerdy, P.S. (2014). Comparison of high-resolution gridded monthly satellite and ground-based precipitation data over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 7(4), 149-160 doi: 20.1001.1.20080336.1392.7.4.10.0. [In Persian]
- Keikhosravi-Kiany, M.S., Masoodian, S.A., & Balling Jr, R.C. (2023). Reliability of satellite-based precipitation products in capturing extreme precipitation indices over Iran. *Advances in Space Research*, 71(3), 1451-1472. doi:10.1016/j.asr.2022.10.003
- Kult, J., Choi, W., & Choi, J. (2014). Sensitivity of the Snowmelt Runoff Model to snow covered area and temperature inputs. *Applied Geography*, 55, 30-38. doi:10.1016/j.apgeog.2014.08.011
- Liu, Z. (2023). Accuracy of satellite precipitation products in data-scarce Inner Tibetan Plateau comprehensively evaluated using a novel ground observation network. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47, 101405. doi:10.1016/j.ejrh.2023.101405
- Mahmoudi Babolan, S., Nastarani Amoghin, S., & Rasoulzadeh, A. (2022). Evaluation of satellite precipitation products for estimating heavy precipitation in the Caspian coast. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 107-122. doi: 10.22098/MMWS.2022.11147.1102. [In Persian]
- Nash, J.E., & Sutcliffe, J.V. (1979). River forecasting through conceptual model Part IA discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 275-281. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6
- Nguyen, P., Shearer, E.J., Ombadi, M., Gorooh, V.A., Hsu, K., Sorooshian, S., Logan, W.S., & Ralph, M. (2020). PERSIANN dynamic infrared-rain rate model (PDIR) for high-resolution, real-time satellite precipitation estimation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(3), E286-E302. doi:10.1175/BAMS-D-19-0118.1
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., & Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900. doi:10.13031/2013.23153
- Rahimiani Iranshahi, H., Moradi, H.R., & Jalili, K. (2022). Trend of precipitation and temperature changes at different time scales in the Karkheh Watershed. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 1-12. doi: 10.22098/mmws.2022.9520.1048. [In Persian]
- Sobral, B.S., de Oliveira-Júnior, J.F., Alecrim, F., Gois, G., Muniz-Júnior, J.G., de Bodas Terassi, P.M., Pereira-Júnior, E.R., Lyra, G.B., & Zeri, M. (2020). PERSIANN-CDR based characterization and trend analysis of annual rainfall in Rio De Janeiro State, Brazil. *Atmospheric Research*, 238, 104873. doi:10.1016/j.atmosres.2020.104873
- Saniesales, F., Soltani, S., & Modarres, R. (2021). Evaluation of new drought index of SPDI (standardized palmer drought index) in Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province. *Journal of Water and Soil Science*, 25(2), 1-12. doi:10.47176/jwss.25.2.36821. [In Persian]
- Sharifi, E., Steinacker, R., & Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing*, 8(2), p.135. doi:10.3390/rs8020135
- Shokri Koochak, S., AkhoondAli, A., & Sharifi, M. (2020). Performance assessment of the PERSIANN and PERSIANN-CDR satellite precipitation algorithms and survey of the irregularities effect on it (Case Study: Helleh River Basin). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(2), 511-527. doi: 10.22059/IJE.2020.299034.1301. [In Persian]
- Tan, M.L., & Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*, 202, 63-76. doi:10.1016/j.atmosres.2017.11.006
- Tan, X., Ma, Z., He, K., Han, X., Ji, Q., & He, Y. (2020). Evaluations on gridded precipitation products spanning more than half a century over the Tibetan Plateau and its surroundings. *Journal of Hydrology*, 582, 124455. doi:10.1016/j.jhydrol.2019.124455
- Vayskarami, I., Payamani, K., & Jaafarzadeh, M. S. (2022). Application of geostatistical methods in determination of depth-area-duration rainfall curves (Lorestan province). *Water and Soil Management and Modelling*, 2(3), 17-26. doi: 10.22098/mmws.2022.9843.1067. [in Persian]
- Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J.C., & Lavado, W., (2015). Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador. *Journal of Hydrology*, 528, 599-612. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.06.064