



Evaluation of precipitation data of Gamasiab basin synoptic stations in comparison with satellite data

Foroozan Payfeshorkeh¹ , Maryam Hafezparast Mavadat^{2✉} , Seyed Ehsan Fatemi³

¹ MSc student, water resources engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f.payfeshorkeh@stu.razi.ac.ir

² Corresponding Author, Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: m.hafezparast@razi.ac.ir

³ Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: e_fatemi78@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

One of the most important advantages of remote sensing is better coverage of space and time, which can be easily achieved to indicate the dynamic nature of hydrological and meteorological variables.

Monitoring satellite-based precipitation in high resolution is very important for evaluating water and energy cycles on a global and regional scale.

In recent decades, satellite precipitation data has attracted the attention of hydrologists and engineers; this is because meteorological stations provide data on a point basis and it is not possible to estimate places that do not have stations, but satellites can provide data for all regions.

Methodology

Gamasiab basin is one of the main sub-basins of Karkheh basin. This basin has an area of 11459 square kilometers and is located in the range of longitude 47°04' to 49°15' and latitude 33°45' to 35°00'. Most of the Gamasiab watershed is located in Kermanshah province, and parts of it are located in Hamadan province.

In this study, the precipitation data of four synoptic stations in Gamasiab basin have been compared with the precipitation data of CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA satellites.

Monthly data for Harsin station from 2008, Kangavar from 2000, Sararud from 2004 and Songhor from 2005 to 2020 have been reviewed.

Error criteria

The error measurements used to evaluate the accuracy of the models, including Correlation Coefficient (CC), Mean Bias Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE), of Root Mean Square Error (CV-RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Pearson Correlation Coefficient (PCC). Satellite high CC and PCC and values low MAE, CV-RMSE and RMSE have high accuracy of estimates. Also, positive and negative MBE means under and over estimated satellite data.

Probability criteria

Probability indicators for use in this area are: False Alarm Ratio (FAR), Probability of Detection (POD), Critical Success Index (CSI) and relative deviations (RBias). At best, POD, FAR, CSI, RBias are one, zero, one, and zero, respectively.

Results and discussion

The results showed that CHRIPS satellite had less probability of detection and relative deviation in the probabilistic criteria and PERSIAN and GSM have a higher probability of detection, but TERRA satellite has the best estimate for Songhar and Kangavar stations. This satellite has estimated the maximum rainfall at Harsin and Kangavar stations to be 128.6 and 189.8 mm, respectively, with a decrease of 124 and 110 mm by 3.5% and 18%, respectively.

ERA5 is also better for Sararud and Songhor stations according to the error and probability criteria. This satellite has estimated the maximum precipitation at Sararud and Songhor stations, which was 176.7 and 147.9 mm, respectively, with a decrease of 178 and 155 mm by 18 and 5%, respectively.

Conclusions

The error criteria of correlation coefficient and Pearson correlation coefficient for Sanghar and Harsin stations of TERRA satellite are 0.77, 0.77 and 0.77, 0.84 respectively and the lowest error criteria are mean square error 22.04 and 18.72, respectively. The coefficient of variation of the mean square error 78.06 and 60.65, the average absolute value of the error 11.31 and 10.34, as well as the average deviation of the error 0.05 and 0.11 and the probability measures of detection probability 0.97 and 0.96, critical success index 93 0.0 and 0.91 and the false alarm rate index and relative deviation have the best estimates, respectively 0.04, 101.14, 0.05 and 102.75.

This satellite has estimated the maximum rainfall, which was 128.6 and 147.9 mm in Harsin and Songhor stations, respectively, with a decrease of 110 and 124 mm by 3.5 and 26 percent.

For Sararud and Kangavar stations, according to the error criteria and the shape of the TRMM satellite diagram, with the correlation coefficient and Pearson correlation coefficient, for each station, 0.89, 0.89, 0.92, 0.93, and the lowest error criteria, the mean square Error 17.87 and 16.00, the coefficient of variation of the mean square error 54.93 and 45.405, the average absolute value of the error 11.021 and 13.46, also the average deviation of the error 0.154 and 0.145 had the best estimate. TERRA has been estimated to be superior.

TRMM satellite has estimated the maximum rainfall in two stations of Sararud and Kangavar, which was 176.2 and 189.7 mm, respectively, with an 18.7, 18 decrease of 155.49 and 143.59 mm. The results of this research are consistent with the research of Gorjizade et al. (2019) in the upstream of Maron Dam.

Keywords: Gamasiab, CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA.

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 13 June 2022 **Revised:** 23 October 2022 **Accepted:** 06 November 2022 **ePublished:** 22 November 2022

Cite this article: Payfeshordeh, F., Hafezparast Mavadat, M., & Fatemi, S.E. (2021). Evaluation of precipitation data of Gamasiab basin synoptic stations in comparison with satellite data, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3), 91-112, DOI: 10.22126/ATWE.2022.7915.1021

Publisher: Razi University

© The Author(s).





ارزیابی داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه گاماسیاب در مقایسه با داده‌های ماهواره

فروزان پای فشرده^۱، مریم حافظ پرست مودت^۲، سید احسان فاطمی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: foroozanpayfeshordeh@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: maryam.hafezparast@gmail.com

^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: e_fatemi78@yahoo.com

چکیده

امروزه علم سنجش‌ازدور موردبررسی بسیاری از دانشمندان و مهندسین قرارگرفته است. داده‌های ایستگاه‌های زمینی به‌صورت نقطه‌ای هست و همچنین در سطح وسیع و مناطق صعب‌العبور داده‌های کافی وجود ندارد. اما داده‌های ماهواره‌ای برای تمام مناطق قابل‌استفاده است. در این پژوهش به مقایسه داده‌های بارش چهار ایستگاه سینوپتیک در حوضه گاماسیاب با داده‌های بارش ماهواره‌های CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA پرداخته‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که هرچند ماهواره CHRIPS در معیارهای احتمالاتی شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی کمتری داشته است و PERSIAN و GSM احتمال آشکارسازی بالاتری دارند اما با در نظر گرفتن همه معیارها برای ایستگاه‌های هرسین و سنقر ماهواره TERRA با معیارهای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون بالاتر و کمترین معیارهای خطا و معیارهای احتمالاتی بهتر برآورد دقیق‌تری داشته‌اند. برای ایستگاه سرآرود و کنگاور نیز ماهواره TRMM بهترین برآورد را داشته است. این ماهواره بیش‌ترین بارش را در دو ایستگاه سرآرود و کنگاور که به ترتیب ۱۷۶/۲ و ۱۸۹/۸ میلی‌متر بوده است را با ۱۸ درصد کاهش ۱۴۳/۵۹ و ۱۵۵/۴۹ میلی‌متر برآورد کرده است.

واژه‌های کلیدی: بارش ماهواره‌ای، CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۱ اصلاح: ۰۱ آبان ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۵ آبان ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ آذر ۱۴۰۱

استناد: پای فشرده، ف.، حافظ پرست مودت، م.، و فاطمی، س.ا. (۱۴۰۱). ارزیابی داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه گاماسیاب در مقایسه با داده‌های ماهواره. *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۲(۳)، ۹۱-۱۱۲. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.7915.1021



مقدمه

تکنیک‌های سنجش‌ازدور و داده‌های حاصل از آن کاربردهای بسیاری در مطالعات منابع آب دارند. برنامه‌های سنجش‌ازدور منابع آب از نقشه‌برداری منابع ساده گرفته تا تصمیم‌گیری پیچیده مربوط به توصیف و اولویت‌بندی حوزه آبخیز متغیر است. داده‌های سنجش‌ازدور که در مطالعات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، از حس‌گرهای مختلف فعال بر روی ماهواره‌های مختلف به دست می‌آیند. حسگرهای فعال ماکروویو، باقابلیت عملیاتی در تمام شرایط آب و هوایی، کاربردهای بالقوه‌ای را در خدمات آنالیز سیل و هشدار سیل دارند. مرور کلی برنامه‌های سنجش‌ازدور در زمینه‌های مختلف منابع آب، پتانسیل استفاده از این روش در مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های کاربرد سنجش از راه دور، پوشش بهتر مکانی و زمانی بوده‌اند که نشان‌دهنده ماهیت پویای متغیرهای حالت هیدرولوژیکی و هواشناسی بوده‌اند (کو مار و همکاران، ۲۰۱۳). نظارت بر بارش مبتنی بر ماهواره در رزولوشن مکانی بالا برای ارزیابی چرخه‌های آب و انرژی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای بسیار مهم بوده‌اند (تاؤ و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به این که ایستگاه‌های هواشناسی داده‌ها را به صورت نقطه‌ای در اختیار قرار می‌دهند و برای مکان‌هایی که ایستگاه نیست نمی‌توان برآوردی انجام داد اما داده‌های ماهواره‌ای برای تمام منطقه داده دارند (پای فشرده و همکاران، ۱۳۹۹).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متفاوتی در زمینه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و صحت سنجی و مقایسه این داده‌ها با داده‌های زمینی موجود است از جمله: بایتو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی دقت چهار محصول بارندگی ماهواره‌ای با وضوح بالا شامل، CMORPH، TMPA، و PERSIANN از طریق شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در حوضه کوهستانی با مساحت ۱۶۵۶ کیلومتر مربع در مدل هیدرولوژیکی MIKE SHE پرداختند. این مطالعه نشان دادند که در تخمین‌های بارش ماهواره‌ای و مقادیر بارندگی تغییرات زیادی وجود دارد که منجر به تغییرات در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی می‌شود. الگوریتم‌های بارندگی CMORPH و TMPA 3B42RT (که عمدتاً از داده‌های ماکروویو استفاده کردند عملکرد ثابت و بهتری را در شبیه‌سازی جریان نشان می‌دهند)، الگوریتم بارندگی که عمدتاً از داده‌های مادون قرمز استفاده کرده‌اند مانند PERSIANN عملکرد کمتری دارند و الگوریتم بارندگی که داده‌های ماهواره‌ای را با داده‌های گیج باران ادغام کرده‌اند مانند TMPA 3B42 ناهماهنگی‌ها بیشتر و عملکرد کمتری را نشان داده‌اند. یکی از ایرادهای کالیبراسیون مدل هیدرولوژیکی با داده‌های گیج باران و داده‌های بارش ماهواره‌ای مربوط به عملکرد شبیه‌سازی جریان ماهواره‌ای در مقایسه با مدل کالیبره شده با داده‌های باران سنخ بوده است که افزایش را نشان داده‌اند.

بایاسا و همکاران^۴ (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای، عملکرد بارش ماهواره‌های CHIRPS و PERSIANN-CDR و TAMSAT^۵ را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با داده‌های اقلیمی ایستگاه ارزیابی کردند. توانایی آن‌ها برای بازتولید ویژگی‌های بارندگی مشاهده‌شده درازمدت (۲۰۱۳-۱۹۸۳) که از ۲۴ باران سنخ در نیجریه به دست آمده است نتایج نشان داده‌اند که همه محصولات از نظر ثبت چرخه سالانه مشاهده‌شده و روندهای فضایی در تمام ایستگاه‌های انتخابی عملکرد خوبی داشتند. ارزیابی آماری نشان داده که CHIRPS با بازتولید ویژگی‌های بارندگی محلی و مشاهداتی در همه مناطق اقلیمی هماهنگ بوده است. با این حال، عملکرد PERSIANN و TAMSAT با فصل و در مناطق آب و هوایی مختلف، تفاوت داشته‌اند.

ترامبلی و همکاران^۶ (۲۰۱۶) در پژوهشی برای اولین بار اعتبارسنجی پنج محصول مختلف بارش مبتنی بر ماهواره‌های TRMM-3B42، PERSIANN-CDR، RFE 2.0، v6، v7، CMORPH1.0 را در حوضه ۱۷۸۵ کیلومترمربعی Makhazine (مراکش) با چهار روش

¹ Kumar et al

² Tao et al

³ Bitew et al

⁴ Bayissa et al

⁵ TAMSAT African Rainfall Climatology And Time-series

⁶ Tramblay et al

درون‌یابی (معکوس فاصله، نزدیک‌ترین همسایگی، کریجینگ معمولی و کریجینگ باقی‌مانده با ارتفاع) بررسی کردند. در این مطالعه ابتدا محصولات بارش با مشاهدات زمینی مقایسه شد. نتایج نشان دادند که (۱) هر چهار روش درون‌یابی، به‌جز رویکرد نزدیک‌ترین همسایگی، تخمین‌های مشابه و معتبری از بارش در مقیاس حوضه ارائه داده‌اند. (۲) در میان تخمین‌های مختلف بارش مبتنی بر ماهواره، محصول TRMM-3B42 v7 نزدیک‌ترین محصول به بارش مشاهده‌شده است.

کین و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای، چهار محصول بارش مبتنی بر ماهواره‌های TRMM-3B42، TRMM-3B42RT، CMORPH، GSMaP را با استفاده از تجزیه و تحلیل بارش مبتنی بر ایستگاه در سراسر چین طی سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۳ بررسی کردند. برای ارزیابی کمی محصولات بارش مبتنی بر ماهواره، از آمار راستی آزمایشی مستمر (مانند ME، RMSE، CC) و طبقه‌بندی مانند POD، FAR استفاده شد. نتایج نشان داد: (۱) GSMaP و CMORPH بارش را کمتر برآورد کردند (به ترتیب ۰/۵۳- و ۰/۱۴- میلی‌متر در روز)، در TRMM-3B42RT بارش بیش‌ازحد تخمین زده شد (حدود ۰/۷۳ میلی‌متر در روز) که تنها مجموعه داده تصحیح‌شده توسط ایستگاه است، بهترین تخمین بارندگی را در بین هر چهار محصول داشت. (۲) GSMaP، CMORPH و TRMM-3B42RT فراوانی رویدادهای بارندگی با شدت کم را بیش‌ازحد برآورد کردند و TRMM-3B42 فراوانی رویدادهای بارندگی با شدت کم را کمتر برآورد کرد. GSMaP فراوانی رویدادهای بارندگی با شدت بالا را کمتر و TRMM-3B42RT مقدار بارش را بیش‌ازحد برآورد کرد.

توت و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی، سه محصول بارش ماهواره‌ای دهروزه TARCAT را برای پیش‌بینی سیستم هشدار زود هنگام قحطی شبکه (FEWS NET) توسط گروه مخاطرات آب‌وهوایی (CHIRPS) با داده‌های بارش سال‌های (۲۰۱۲-۲۰۰۱) ایجاد کردند. این کار با استفاده از آمار مقایسه زوجی برای ارزیابی عملکرد در تخمین مقادیر بارندگی و آمارهای طبقه‌بندی برای ارزیابی قابلیت‌های تشخیص باران انجام شده است. به‌طور کلی، مشاهدات ماهواره‌ای در این پژوهش مقادیر کم بارندگی را بیش‌ازحد تخمین زده و مقادیر بالای بارندگی را کمتر نشان داده‌اند. محصولات RFE و CHIRPS مناسب‌تر بوده و به‌طور کلی از TARCAT در اکثر معیارهای آماری بهتر عمل کردند. TARCAT بسامد نسبی رویدادهای بارندگی را به بهترین شکل تشخیص دادند، درحالی‌که RFE فراوانی رویدادهای بارندگی را کمتر برآورد کرده و CHIRPS فراوانی رویدادهای بارندگی را بیش‌ازحد تخمین زد. تفاوت در عملکرد محصولات با بارندگی بیشتر از بین رفته و همه محصولات در فصل مرطوب نتایج بهتری داشتند. در طول فصل طوفان، CHIRPS بهترین نتایج را نشان دادند، درحالی‌که RFE نسبت به سایر محصولات برای بارندگی کمتر عملکرد بهتری داشته‌اند.

تافته و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای از ابزار Google Earth Engine و محصولات بارش حاصل از تصاویر ماهواره‌ای CHIRPS، TRMM و GPM به ترتیب در بازه‌های زمانی روزانه، دهروزه و ماهانه استفاده کردند و مقدار بارش در ایستگاه اهواز و ایذه را طی سال‌های ۱۳۹۴ - ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ - ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند شاخص توافق و کارایی مدل قابل قبول بوده است و از نظر آزمون F-Test تفاوت معنی‌داری بین داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشاهده نشده است، ولی جهت افزایش دقت آن باید از مدل‌های عددی با دقت بالاتر مورد استفاده قرار دهند.

آموریا و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای برای درک کامل کاربرد محصولات سنجش‌ازدور بارش در مدل‌سازی و تصمیم‌گیری حوضه، یک ارزیابی کامل از دقت بارندگی مبتنی بر ماهواره و برآورد شبکه سنجش منطقه‌ای به تحلیل بارش چند ماهواره (TMPA) و (CHIRPS) با مشاهدات روزانه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ پرداختند. حوضه رودخانه مکونگ در جنوب آسیای شرقی در مقایسه ماهانه، فصلی و سالانه نشان دادند که TMPA اندازه‌گیری‌های روزانه بارش یا بدون بارندگی را ۶۴/۹ درصد از همه روزها و CHIRPS ۶۶/۸ درصد از همه روزها را به‌درستی تشخیص داده‌اند. دقت محصولات مبتنی بر ماهواره بین فصول مرطوب و خشک بسیار متفاوت بوده است. هر دو TMPA و CHIRPS همبستگی بیشتری با داده‌های مشاهداتی در طول فصل مرطوب (ژوئن - سپتامبر) در مقایسه با فصل خشک (نوامبر تا ژانویه) نشان دادند. علاوه بر این، هر دو در مقیاس زمانی ماهانه بهتر از مقیاس زمانی سالانه عمل کردند.

¹ Qin et al

² Toté et al

³ Amorim et al

چاو و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای از داده‌های ماهواره‌های مرکز پیش‌بینی آب‌وهوا (CMORPH) و اداره ملی اقیانوس‌شناسی و جوی ایالات‌متحده (NOAA) و نقشه‌برداری ماهواره‌ای جهانی (GSMaP) و آژانس اکتشاف هوافضای ژاپن (JAXA) برای ارزیابی در مقیاس زمانی ماهانه استفاده کرده‌اند و داده‌های باران سنج نقطه‌ای و شبکه‌ای به‌عنوان مجموعه داده مرجع در نظر گرفته شده است. آمار کلی نشان دادند مناطقی که پوشش باران سنج کم بود دقت کمتری را نشان دادند. به‌طور کلی، مجموعه داده‌های CMORPH و GSMaP به‌عنوان منابع مفید تخمین بارش ماهواره‌ای در استرالیا ارزیابی شدند.

جیانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۹) در یک پژوهش، بر نقش سنجش‌ازدور مبتنی بر ماهواره در شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی مدل‌سازی اشاره کردند. داده‌های سنجش‌ازدور برای بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، خواص برف، تغییر ذخیره آب زیرزمینی، دمای سطح زمین، عرض رودخانه و غیره در بهبود جریان شبیه‌سازی شده نقش مهمی دارند. یک چارچوب، با استفاده از مشاهدات از راه دور برای بهبود پیش‌بینی جریان در حوضه تنظیم‌شده است و برای مطالعات آینده پیشنهاد شده است.

میری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود، با مقایسه دقت سنجنده‌های TRMM و GPM در برابر داده‌های مشاهده‌ای نشان دادند که هرچند شباهت زیادی بین مقادیر بارش برآوردی GPM و TRMM وجود داشته است، ولی دقت داده‌های روزانه سنجنده GPM در سطح ایران نسبت به داده‌های TRMM بیشتر بودند؛ بهترین دقت پایگاه به داده‌های سنجش‌ازدور GPM و TRMM در غرب کشور و به‌ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس بوده و همانند بسیاری از پایگاه داده‌های دیگر کمترین دقت در نواحی ساحلی و به‌ویژه سواحل دریای خزر مشاهده شده است.

عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله ارزشیابی داده‌های ماهواره‌ای CMORPH و TRMM 3B42RT V7 به‌منظور تخمین بارش در حوضه گرگان رود نشان دادند که داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی دقت بیشتری در مقایسه با مقیاس روزانه داشته‌اند. بررسی‌ها مشخص کردند که TRMM 3B42RT V7 و CMORPH مقدار بارش را کمتر از مقدار مشاهداتی نشان دادند. همچنین CMORPH در احتمال آشکارسازی و شاخص موقعیت بحرانی بهتر عمل کردند اما نرخ هشدار اشتباه بدتری نسبت به TRMM 3B42RT V7 داشته‌اند.

انوری و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به‌منظور محاسبه میزان منابع و مصارف آب و محاسبه اجزای بیلان آب سطحی با استفاده ترکیبی از مدل هیدرولوژیکی MODSIM و داده‌های ماهواره‌ای و زمینی مختلف در حوضه آبریز آمودریا، مؤلفه‌های بیلان آب سطحی، منابع و مصارف آب (نظیر شرب، کشاورزی و صنعت) در این حوضه را با استفاده از اطلاعات TRMM، GPM و GLDAS استخراج و در نرم‌افزار MODSIM اجرا کردند. همچنین منابع آب سطحی و مصارف آن نیز مورد تفکیک قرار گرفتند و نتایج آن در نهایت مقدار تأمین نیازها و کمبودها در این حوضه آبریز مشخص کردند.

اردونی و همکاران (۱۴۰۰) باهدف ارزیابی داده‌های بارش ماهواره، مقدار بارش IMERG - GPM و مقایسه آن با داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنج زمینی در استان گلستان- حوضه گرگان رود را تطبیق و صحت‌سنجی کردند. اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره GPM با استفاده از معیارهای آماری MAE، RMSE، MBE و GPM نشان دادند که از دقت قابل قبولی برخوردار بوده‌اند. مقادیر POD نیز عملکرد قابل قبول داده‌های این ماهواره را نشان داده است. مطابقت نسبی و خوبی بین داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای GPM وجود داشته است.

اردونی و همکاران (۱۳۹۹) تحقیقی باهدف ارزیابی و مقایسه مقادیر بارندگی برآورده شده ماهواره هواشناسی GPM با ایستگاه‌های زمینی و با استفاده از آزمون نا پارامتری کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای در حوزه آبخیز گرگانرود استان گلستان انجام شده است. مقادیر بارش ماهواره روزانه GPM با تفکیک مکانی ۰/۱ در محیط نرم‌افزار متلب تجزیه و تحلیل گردید و با استفاده از تابع توزیع تجمعی تجربی تخمین زده‌اند. نتایج حاصل از بررسی مقادیر P_value مربوط به مقایسه آمار روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی با داده‌های ماهواره GPM، نشان دادند که این آماره با مقدار ۹۵٪ بالاترین میزان مطابقت داده‌های GPM با داده‌های مشاهده‌ای را در ایستگاه حقالخواجه نشان دادند و کمترین میزان مطابقت با مقدار ۰/۰۰۱ مربوط به ایستگاه شیرآباد بوده است.

¹ Chua et al

² Jiang et al

قه‌رمان و همکاران (۱۳۹۷) در یک پژوهش به ارزیابی اطلاعات بارش برآوردی اصلاح‌شده از تصاویر ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در حوضه‌ی آبخیز شاپور استان فارس پرداختند. نتایج نشان دادند که مدل‌های TRMM و TRMM اصلاح‌شده در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کمی دارند. ضریب همبستگی مقادیر بارش برآوردی از ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در مقیاس ماهانه با داده‌های زمینی در تمامی ایستگاه‌های بررسی‌شده، ضریب همبستگی بیشتر از ۸۵٪ دارد و با اصلاح داده‌ی بارش ضریب تبیین نیز بهبود یافت. زنگنه اینانو و همکاران (۱۳۹۷)، به ارزیابی اطلاعات بارش مدل‌های CMORPH و PERSIANN در حوضه آبریز شاپور پرداختند. بدین منظور، از اطلاعات بارش روزانه و ساعتی ایستگاه‌های حوضه شاپور شامل ۲۸ رویداد بارش (مقیاس ساعتی) و وقایع بارش روزانه در بازه زمانی ۹۰-۹۵ برای ایستگاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی کازرون استفاده کردند. معیارهای ضریب همبستگی، میانگین مجذور مربع خطا، احتمال آشکارسازی، نرخ هشدار اشتباه و شاخص موفقیت بحرانی برای هر دو محصول بارش ماهواره‌ای محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که مدل‌های CMORPH و PERSIANN در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کافی ندارند و همبستگی داده‌های مشاهداتی در مقیاس ساعتی با CMORPH نسبت به PERSIANN بیشتر بوده است.

صوفی گردینی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی صحت داده‌های بارش ماهواره TRMM در ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۹ ایستگاه سینوپتیک در استان هرمزگان در مقیاس ماهانه پرداختند. مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های منتخب واقع در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۸ انجام شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین دقت ماهواره TRMM در فصل‌های زمستان و بهار و کمترین آن، در تابستان اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر، عملکرد ماهواره TRMM در ماه‌های سرد سال بهتر از ماه‌های گرم سال است.

عرفانیان و همکاران (۱۳۹۴) ارزیابی میزان صحت داده‌های باران ماهواره TRMM در مقیاس‌های روزانه و ماهانه را با مقایسه داده‌های روزانه TRMM-3B42 و ماهانه TRMM-3B43 انجام دادند. مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های انتخابی واقع در شش زون اقلیمی - ایران (بیابانی، نیمه بیابانی، کوهستانی، نیمه کوهستانی، بیابان ساحلی و مرطوب ساحلی) در دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۸ انجام شد. نتایج تحقیق نشان دادند که ماهواره TRMM در دو مقیاس مشاهده‌ای ۶۸٪ بیشتر از ایستگاه‌ها برآورد کردند.

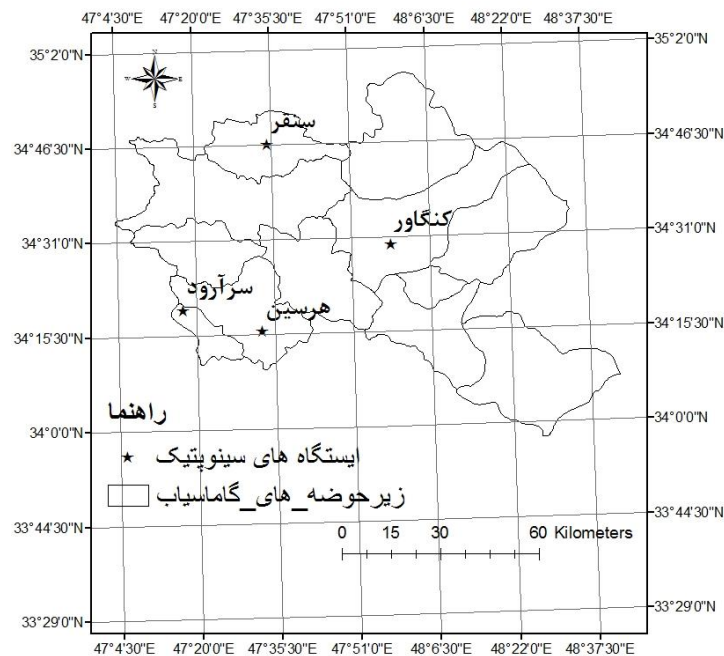
شیرمحمدی و همکاران (۱۳۹۸) داده‌های بارش ماهواره GPM با محصول IMERG و TRMM با محصول 3B42-V7 را با داده‌های باران‌سنجی مقایسه و دو مدل کاربردی در ارزیابی مکانی به منظور پهنه‌بندی بارش در آب‌وهوای نیمه‌خشک استان خراسان رضوی ارزیابی کردند. داده‌های بارش اندازه‌گیری برای ۲ سال از ژانویه ۲۰۱۵ تا دسامبر ۲۰۱۶ مقایسه شده‌اند. نتایج تحلیل‌های آماری مقایسه دو روش با داده‌های تولیدات ماهواره‌ای نشان دادند که در مقیاس سالانه داده‌های ماهواره TRMM به داده‌های ماهواره GPM نزدیک بودند. اما داده‌های ماهواره TRMM با ضریب همبستگی کمی بالاتر و انحراف بایاس نسبی کمتر نسبت به داده‌های ماهواره GPM شبیه‌تر بودند.

گرچی زاده و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی دقت داده‌ها با وضوح مکانی بالا در ماهواره‌های ERA-Interim، PERSIANN و CHIRPS در بالادست سد مارون پرداختند و جهت ارزیابی از داده‌های بارش روزانه، ماهانه و سالانه سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ داده‌های باران‌سنجی بهره گرفته شد. نتایج نشان داد در برآورد بارش سالانه داده‌های مدل‌های شبکه‌بندی شده عملکرد کمتری داشته و میانگین بارش سالانه را کمتر از میانگین بارش سالانه مشاهداتی برآورد نموده است. در برآورد بارش ماهانه با توجه به ضریب نش-ساتکلیف در ایستگاه‌های دهنو، ایدنک و مارگون مدل ERA-Interim عملکرد بهتری نسبت به CHIRPS نشان داد.

مقالات و پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که داده‌های بارش ماهواره‌ای برای مناطق مختلف نسبت به ماهواره‌های مورد استفاده نتایج متفاوتی دارد و روند مشخصی برای بیش برآوردی یا کم برآوردی وجود ندارد. از این رو در این پژوهش به مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌های CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA با داده‌های ۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه گاماسیاب در استان کرمانشاه پرداخته شد تا بتوان برای این حوضه ماهواره‌هایی که عملکرد بهتری در مقیاس‌های زمانی ماهانه دارند مشخص گردد.

روش پژوهش

حوضه گاماسیاب در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کرخه واقع شده است که از سراب سنگ سوراخ و چشمه سارهای اطراف نهند سرچشمه می گیرد (زارع زاده مهریزی و همکاران، ۱۳۹۶). در مسیر رودخانه گاماسیاب رشته های فرعی مختلفی به آن ملحق می شود در جنوب بیستون، شاخه فرعی رودخانه دینور به آن پیوسته و به نام گاماسیاب ادامه مسیر می دهد و در نزدیکی فرامان به رودخانه قره سو متصل شده و بعد از آن به نام سیمره وارد خاک لرستان می شود. حوضه گاماسیاب یکی از زیر حوضه های اصلی حوضه کرخه است. این حوضه در محدوده بین شهرستان های کنگاور، صحنه، بیستون، هرسین، سنقر و کرمانشاه قرار گرفته، به طوری که از شمال به سنقر و استان کردستان، از جنوب به هرسین و استان لرستان، از شرق به کنگاور و استان همدان و از غرب به کرمانشاه محدود می شود. این حوضه ۱۱۴۵۹ کیلومتر مربع وسعت داشته و در محدوده طول جغرافیایی $47^{\circ}04'$ تا $49^{\circ}15'$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ}45'$ تا $35^{\circ}00'$ قرار دارد؛ ارتفاع از سطح دریا در این حوضه بین ۱۲۴۲ تا ۳۵۸۰ است و متوسط نزولات جوی دریافت شده در این حوضه ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلی متر است. تغییرات درجه حرارت در این حوضه بین $29/5$ - تا 47 درجه سانتی گراد می باشد. بیشتر سطح حوزه آبخیز گاماسیاب در استان کرمانشاه، و بخش هایی از آن در استان همدان قرار دارد. نقشه منطقه مطالعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه منطقه مطالعاتی حوضه آبریز گاماسیاب (استان کرمانشاه)

داده های بارش برای ایستگاه هرسین از ۲۰۰۸، کنگاور از ۲۰۰۰، سرارود از ۲۰۰۴ و سنقر از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ به صورت ماهانه مورد بررسی قرار گرفته است. که در جدول ۱ مشخصات ایستگاه ها و در جدول ۲ مشخصات ماهواره ها لحاظ شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های سینوپتیک منطقه

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	حداکثر بارش سالانه (میلی متر)	حداقل بارش سالانه (میلی متر)	میانگین بارش سالانه (میلی متر)
۱	هرسین	۲۷°۳۴'	۵۵°۴۷'	۳۸۳/۴	۱۶۶/۵	۳۷۲/۷
۲	سرآرود	۳۳°۳۴'	۲۹°۴۷'	۶۶۸/۴	۲۸۱/۱	۴۲۲/۹۳
۳	کنگاور	۵°۳۴'	۹۸°۴۷'	۵۶۹/۲	۲۴۷/۷۳	۳۹۰/۵۱
۴	سنقر	۷۸°۳۴'	۵۸°۴۷'	۵۵۶/۸	۲۸۶/۷	۳۷۶/۸

جدول ۲. مشخصات ماهواره‌های مورد استفاده

ردیف	نام ماهواره	واحد	باند	مدت زمان داده	آخرین تاریخ برآورد داده	اولین تاریخ برآورد داده	وضوح (درجه)
۱	TRMM/3B43V7	میلی متر بر ساعت	precipitation	ماهانه	۲۰۱۹/۰۱/۱۲	۱۹۹۸/۱/۱	۰/۲۵
۲	GSMaP Reanalysis	میلی متر بر ساعت	hourlyPrecipRate	سه ساعته	۲۰۱۴/۱۲/۳	۲۰۰۰/۱/۳	۰/۱
۳	GSMaP Operational	میلی متر بر ساعت	hourlyPrecipRate	سه ساعته	۲۰۲۱/۲/۳	۲۰۱۴/۱/۳	۰/۱
۴	GPM	میلی متر بر ساعت	precipitation	ماهانه	۲۰۲۰/۱/۱۱	۲۰۰۰/۱/۶	۰/۱
۵	PERSIANN-CDR	میلی متر	precipitation	روزانه	۲۰۲۰/۰۹/۳۰	۱۹۸۳/۱/۱	۰/۲۵
۶	CHIRPS	میلی متر بر روز	precipitation	روزانه	۲۰۲۱/۳/۱	۱۹۸۱/۱/۱	۰/۰۵
۷	TerraClimate	میلی متر	pr	ماهانه	۲۰۱۹/۱/۱۲	۱۹۵۸/۱/۱	۲/۵ دقیقه
۸	ERA5	متر	total_precipitation	روزانه	۲۰۲۰/۹/۷	۱۹۷۹/۲/۱	۰/۲۵

ماهواره TRMM

این ماهواره ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ میلادی پرتاب شد و در مدار قرار گرفت و از ۳۱ ژانویه سال ۲۰۰۰ داده‌ها در دسترس قرار گرفت. این ماهواره محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است که در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین قرار داد. محصولات آن از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد. بر طبق اطلاعات ارائه شده از طرف ناسا (۲۰۰۱) توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها حداقل $0.25^*0.25$ درجه و حداکثر ۵*۵ درجه است. این ماهواره در هر روز چندین بار از مناطق مختلف کره زمین عبور کرده و اطلاعات لازم را برداشت می‌کند. تکرار برداشت‌ها و عبور این ماهواره برای مناطق مختلف کره زمین متفاوت است چرخش کامل زمین هر بار به مدت $91/538 \pm 0.26$ دقیقه زمان برده و ۱۶ مدار در روز طی می‌شود. زاویه میل ماهواره، ۳۵ درجه است.

ماهواره Persian

یک مجموعه داده بارش تقریباً جهانی با وضوح بالا برای مطالعات طولانی مدت است. PERSIANN-CDR (تخمین بارش از اطلاعات سنجنش‌ازدور با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی - ثبت داده‌های آب‌وهوا) که توسط مرکز آب و هواشناسی و سنجنش‌ازدور (CHRS) در دانشگاه کالیفرنیا، ایروان (UCI) ایجاد شده است، تخمین‌های بارندگی روزانه 0.25 درجه را برای باند عرض جغرافیایی 60N-60S این ماهواره باهدف پرداختن به نیاز به مجموعه داده‌های بارندگی ثابت، بلندمدت، با وضوح بالا و جهانی برای مطالعه تغییرات و روند بارش‌های روزانه، به‌ویژه

رویدادهای بارش شدید، به دلیل تغییرات اقلیمی و تنوع طبیعی است. PERSIANN-CDR از الگوریتم PERSIANN با استفاده از داده‌های مادون قرمز GridSat-B1 تولید شده و با استفاده از محصول ماهانه پروژه جهانی بارش (GPCP) تنظیم شده است تا سازگاری دو مجموعه داده در مقیاس ۲/۵ درجه ماهانه در کل رکورد حفظ شود.

ماهواره CHIRPS

CHIRPS شامل تصاویر ماهواره‌ای با وضوح ۰/۰۵ درجه و با کمک داده‌های ایستگاه‌های مشاهداتی برای ایجاد سری‌های زمانی باران برای تجزیه و تحلیل روند و نظارت بر خشک‌سالی فصلی است. این مجموعه جهانی امکان ارزیابی دقیق و نظارت بر الگوهای بارشی در مقیاس گسترده و تجزیه و تحلیل چگونگی تأثیر آن‌ها بر تغییرات آب و هوایی را فراهم می‌کند. نسخه اولیه از داده‌های دو ایستگاه، سیستم جهانی ارتباطات جهانی (GTS) و سازمان هواشناسی جهانی (WMO) استفاده می‌کند. داده‌ها در قالب‌های مختلف برای بارگیری از طریق سایت FTP گروه Climate Hazard موجود است. برنامه SERVIR توانایی استخراج آمارهای منطقه‌ای را در یک منطقه موردنظر توسط کاربر برای یک‌زمان خاص فراهم می‌کند.

ماهواره ERA5

ERA5 تخمین‌های ساعتی تعداد زیادی از متغیرهای جوی، زمینی و اقیانوسی را ارائه می‌دهد. داده‌ها زمین را در یک شبکه ۳۰ کیلومتری و جو را با استفاده از ۱۳۷ سطح تا ارتفاع ۸۰ کیلومتری پوشش می‌دهند. این ماهواره شامل اطلاعاتی در مورد عدم قطعیت متغیرها در وضوح مکانی و زمانی است و به روزرسانی ماهانه تضمین شده آن از ۱۹۷۹ تاکنون ظرف ۳ ماه از زمان واقعی منتشر می‌شود. به روزرسانی‌های روزانه اولیه مجموعه داده ظرف ۵ روز در زمان واقعی در دسترس کاربران قرار می‌گیرد.

ماهواره GPM

مأموریت اندازه‌گیری بارندگی جهانی (Global Precipitation Measurement) که به اختصار GPM نامیده می‌شود، شبکه‌ای بین‌المللی از ماهواره‌ها است که نسل بعدی مشاهدات جهانی باران و برف را فراهم می‌کند. این مأموریت که بر پایه موفقیت ماهواره TRMM بنا شده، با به‌کارگیری یک ماهواره اصلی و مرکزی که یک سیستم راديو متر و رادار پیشرفته را حمل می‌کند به اندازه‌گیری بارندگی از فضا می‌پردازد و به‌عنوان یک استاندارد مرجع برای تلفیق اندازه‌گیری‌های بارندگی از مجموعه‌ای از ماهواره‌های تحقیقاتی و عملیاتی عمل می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای با وضوح ۰/۱ درجه از تاریخ ۱۹۷۹/۲/۱ تا ۲۰۲۰/۹/۷ به صورت ماهانه در دسترس کاربران قرار می‌گیرد.

ماهواره TERRA

ماهواره ترا ماهواره پژوهشی علمی چندملیتی ناسا است که در مدار خورشید آهنگ به دور زمین می‌گردد. این ماهواره سیستم فرماندهی دیدبانی زمین است. این ماهواره در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ از پایگاه نیروی هوایی وندنبرگ با موشک اطلس ۲ به فضا پرتاب گردید و از تاریخ ۲۴ فوریه ۲۰۰۰ آغاز به جمع‌آوری داده نمود. ترا دارای ۵ حسگر از راه دور برای نظارت بر وضعیت محیط‌زیست زمین و تغییرات اقلیمی است. تصاویر این ماهواره با وضوح ۲ دقیقه به صورت ماهانه در دسترس کاربران قرار می‌گیرد.

ماهواره GSM

این ماهواره نرخ بارندگی ساعتی جهانی را با وضوح ۰/۱ * ۰/۱ درجه ارائه می‌دهد و مشاهدات جهانی بارش را در فواصل سه‌ساعته ارائه می‌کند. مقادیر با استفاده از ماکروویو غیرفعال چند باندهای راديوترهای فرسوخ و با کمک مجموعه‌ای از ماهواره‌ها تخمین زده می‌شوند. الگوریتم بازیابی

نرخ بارش بر اساس یک مدل انتقال تابشی است. نرخ تعدیل شده توسط گنج بر اساس بهینه‌سازی انباشت ۲۴ ساعته نرخ باران ساعتی به بارش روزانه توسط اندازه‌گیری گنج NOAA/CPC محاسبه می‌شود.

معیارهای خطا

معیارهای خطا سنجی مورد استفاده جهت بررسی دقت مدل‌ها، شامل ضریب همبستگی^۱ (CC) میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین مجذور مربع خطا^۲ (RMSE)، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا^۴ (CV-RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا^۵ (MAE) و ضریب همبستگی پیرسون^۶ (PCC) می‌باشند (معادلات ۱ تا ۶). بالا بودن مقدار CC و PCC، کم بودن MAE و CV-RMSE و RMSE نشان از دقت بالایی تخمین‌ها دارد. همچنین مقادیر منفی و مثبت MBE به ترتیب به معنای کم تخمینی و بیش تخمینی داده‌های بارش ماهواره‌ای هستند:

$$CC = \frac{COV(P^{est}, P^{obs})}{\sigma(P^{est}) \times \sigma(P^{obs})} \quad (۱)$$

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - P_t^{obs})}{\sum_{t=1}^T P_t^{obs}} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - P_t^{obs})^2}{T}} \quad (۳)$$

$$CV-RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\left[\frac{\sum_{t=1}^T P_t^{obs}}{T} \right]} \times 100 \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^T |P_t^{est} - P_t^{obs}|}{T} \quad (۵)$$

$$PCC = \frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - \overline{P^{est}})(P_t^{obs} - \overline{P^{obs}})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - \overline{P^{est}})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T (P_t^{obs} - \overline{P^{obs}})^2}} \quad (۶)$$

در روابط فوق P^{est} و P^{obs} به ترتیب مقدار بارش مشاهداتی و تخمین زده شده ماهواره‌ای، $COV(P^{est}, P^{obs})$ کوواریانس آن‌ها، $\sigma(P^{est})$ و $\sigma(P^{obs})$ به ترتیب انحراف معیار بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای، $\overline{P^{est}}$ و $\overline{P^{obs}}$ به ترتیب متوسط بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای، t گام زمانی و T طول کل سری زمانی در نظر گرفته است.

معیارهای احتمالاتی

بسیاری از پدیده‌های آب و هوایی را می‌توان در حکم پیشامدهای دودویی ساده در نظر گرفت و هشدار در مورد این پیشامدها اغلب به صورت گزارش‌هایی کامل که این پدیده‌ها رخ می‌دهند یا نمی‌دهند صادر می‌شود. این نوع از پیش‌بینی‌ها گاهی اوقات با عنوان پیشامدهای دودویی یا

^۱ Correlation Coefficient

^۲ Mean Bias Error

^۳ Root Mean Square Error

^۴ CV (Coefficient of Variation) of Root Mean Square Error

^۵ Mean Absolute Error

^۶ Peasron Correlation Coefficient

پیش‌بینی‌های بله/خیر شناخته می‌شوند و برای محاسبه شاخص‌های احتمالاتی کاربرد دارد تقوی و همکاران (۲۰۱۲). شاخص‌های احتمالاتی مورد استفاده در این مطالعه عبارت‌اند از: شاخص نرخ هشدار اشتباه^۱ (FAR)، احتمال آشکارسازی^۲ (POD)، شاخص موفقیت بحرانی^۳ CSI و انحراف نسبی^۴ RBias (معادلات ۷ تا ۱۰). این شاخص‌ها نشان می‌دهند که توانایی تخمین‌های ماهواره‌ای در تشخیص وقوع و یا عدم وقوع بارش چه میزان است. شاخص POD نشان‌دهنده‌ی میزان دقت در تشخیص وقوع بارش، FAR بیانگر حالاتی که در آن داده ماهواره‌ای وقوع بارش را نشان داده اما در ایستگاه بارشی رخ نداده، CSI بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که توسط مدل‌ها به درستی تشخیص داده شده و RBias نشان‌دهنده‌ی مقدار اختلاف بین مقدار برآورد شده و مقدار واقعی است. برای محاسبه این شاخص‌ها از معادلات ۷ تا ۱۰ استفاده شد. در بهترین حالت ممکن مقادیر POD، FAR، CSI، RBias به ترتیب برابر یک، صفر، یک و صفر است.

$$POD = \frac{RR}{RR+RN} \quad (7)$$

$$FAR = \frac{NR}{RR+NR} \quad (8)$$

$$CSI = \frac{RR}{RR+NR+RN} \quad (9)$$

$$RBias(\%) = \frac{RR+NR}{RR+RN} \times 100 \quad (10)$$

در معادلات فوق RR نشان‌دهنده حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است و مدل نیز وقوع بارش را نشان می‌دهد، NR نشان‌دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ نداده است اما مدل وقوع بارش را نشان می‌دهد، RN نشان‌دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است و مدل وقوع بارش را نشان نمی‌دهد.

توزیع تجربی

به کمک متغیر تصادفی، برای هر پیشامد، یک عدد از اعداد حقیقی در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که پیشامدها به صورت تصادفی رخ می‌دهند، طبیعی است برای هر کدام از آن‌ها، مقداری تصادفی در نظر بگیریم. برای متغیرهای تصادفی و توصیف رفتار تصادفی آن‌ها از تابع توزیع تجمعی که به اختصار CDF نامیده می‌شود، استفاده می‌کنیم. برای برآورد «تابع توزیع تجمعی» بر اساس داده‌های مشاهده شده، از تابع توزیع تجربی در آمار استفاده می‌کنیم. این تابع را با ECDF که مختصر عبارت Empirical Cumulative Distribution Function است، می‌شناسیم. تابع ECDF یکی از ابزارهای مهم در تجزیه و تحلیل داده‌ها در حوزه آمار و «داده‌کاوی» محسوب می‌شود. به کمک این توزیع‌ها ساختار داده‌ها و تمرکز و پراکندگی آن‌ها در تحلیل توصیفی داده‌ها (Explanatory Data Analysis) مشخص می‌شود. جدول فراوانی و ساختار آن اطلاعات زیادی در مورد پراکندگی داده‌ها و بخصوص فراوانی درصدی مربوط به هر رده در اختیارمان قرار می‌دهد.

یافته‌ها

نتایج مقایسه داده‌های ماهانه بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای

¹ False Alarm Ratio

² Probability of Detection

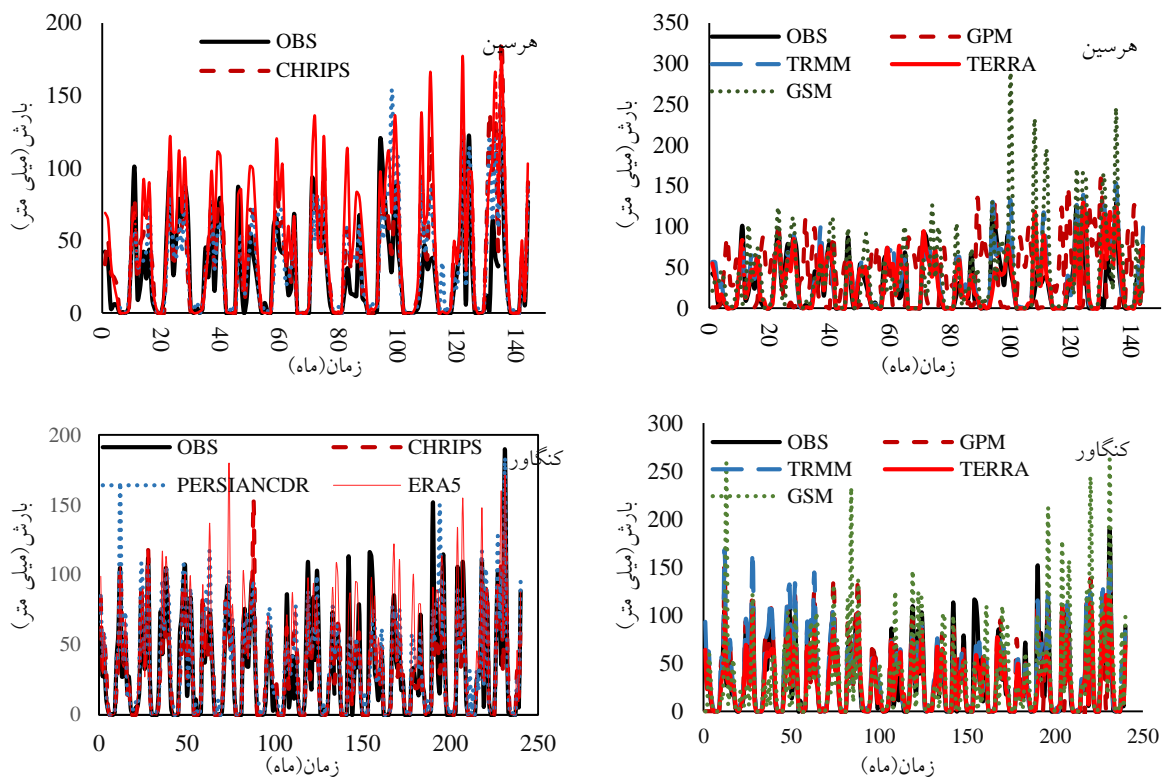
³ Critical Success Index

⁴ Relative Bias

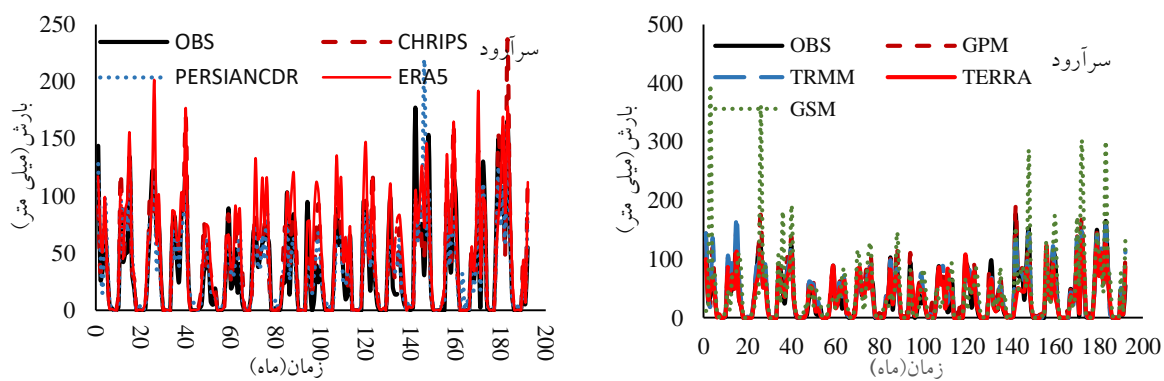
⁵ Cumulative Distribution Function

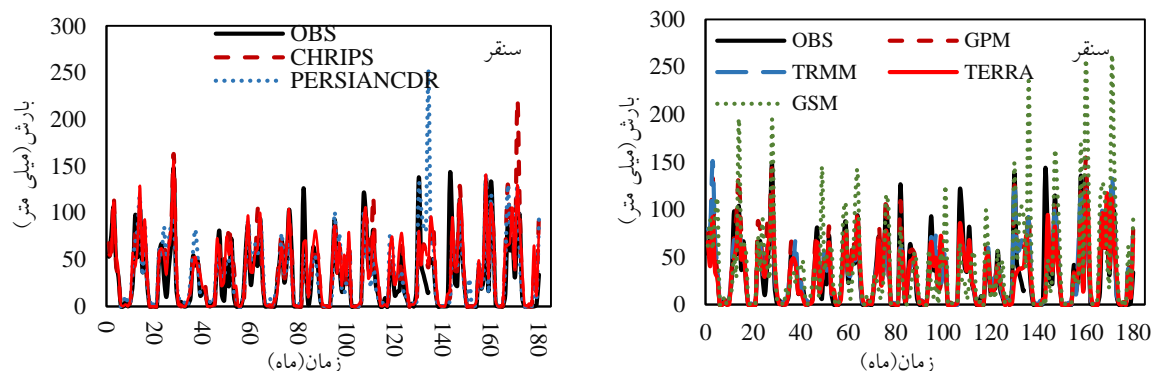
⁶ Data Mining

در شکل ۲ داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک موردنظر و داده‌های بارش ماهواره‌ها برای هر ایستگاه آورده شده است که به ترتیب از بالا به پایین ایستگاه هرسین، کنگاور، سرآرود و سنقر را نمایش می‌دهد.



شکل ۲. نمودار ماهانه داده‌های بارش ۴ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌های CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA





ادامه شکل ۲. نمودار ماهانه داده‌های بارش ۴ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌های GPM, ERA5, PERSIAN_CDR, CHRIPS, GSM, TRMM, TERRA

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل ۲ هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفته است. در ایستگاه هرسین نتایج ماهواره TERRA نسبت به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر است؛ ماکسیمم بارش در داده‌های مشاهداتی در مارس ۲۰۱۹، ۱۲۸/۶ میلی‌متر بوده که در ماهواره TERRA بارش در این ماه ۱۲۴ میلی‌متر بوده که ۳/۵ درصد از داده بارش مشاهداتی کمتر است. میانگین بارش در مشاهداتی ۲۸/۲۳ است که در ماهواره ۳۱/۲۳ میلی‌متر حدود ۱۱ درصد بیشتر برآورد شده است. برای ایستگاه کنگاور نیز ماهواره TRMM بیشترین نزدیکی را با داده‌های مشاهداتی دارد؛ ماکسیمم بارش در داده‌های مشاهداتی در مارس ۲۰۱۹، ۱۸۹/۸ میلی‌متر بوده که در ماهواره TRMM برابر ۱۵۵/۴۹ میلی‌متر بوده که حدود ۱۸ درصد کمتر برآورد شده است و میانگین بارش در مشاهداتی ۳۲/۵ میلی‌متر است که در ماهواره ۳۷/۵ میلی‌متر حدود ۱۵ درصد بیشتر از مشاهداتی برآورد شده است.

در ایستگاه سرآرود با توجه به نمودارها نتایج ماهواره GPM و TRMM نزدیک‌تر به داده‌های مشاهداتی هستند؛ ماکسیمم بارش برای داده‌های مشاهداتی در اکتبر ۲۰۱۵، ۱۷۶/۲ میلی‌متر بوده که ماکسیمم ماهواره GPM در این ماه ۱۸۹/۷۲ و ماهواره TRMM برابر ۱۴۳/۵۹ میلی‌متر است که به ترتیب ۸ درصد بیشتر و ۱۸ درصد کمتر برآورد شده است. اما با توجه به میانگین بارش در داده‌های مشاهداتی که ۳۵/۲ میلی‌متر است و داده‌های TRMM، GPM که به ترتیب ۴۰/۴ و ۴۳/۱ میلی‌متر هستند داده‌های TRMM با ۱۵ درصد اختلاف برآورد بهتری داشته‌اند. در ایستگاه سنقر با توجه به نمودارها ماهواره ERA5 و TERRA نزدیک‌تر به داده‌های مشاهداتی هستند؛ ماکسیمم بارش برای داده‌های مشاهداتی در آوریل ۲۰۰۷، ۱۴۷/۹ میلی‌متر بوده که ماکسیمم ماهواره ERA5 ۱۵۵ میلی‌متر در همین ماه است و ۵ درصد بیشتر برآورد شده و برای TERRA در همین ماه در سال ۲۰۱۸ و در آوریل ۲۰۰۷، ۱۱۰ میلی‌متر بوده که ۲۶ درصد کمتر از مشاهداتی برآورد شده است. اما با توجه به میانگین بارش مشاهداتی که ۳۱/۴ میلی‌متر است ماهواره TERRA با میانگین ۳۰/۳۸ میلی‌متر با سه درصد کاهش مطابقت بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد.

نتایج معیارهای خطا

جدول ۳ معیارهای خطا برای چهار ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه گاماسیاب و داده‌های بارش ماهواره‌های ERA5, CHRIPS, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA را نشان می‌دهد.

جدول ۳. معیارهای خطای بارش مشاهداتی و ماهواره در مقیاس ماهانه

CHRIPS	PERSIANCDR	ERA5	GPM	TRMM	TERRA	GSM	معیار	ایستگاه
							ماهواره	
۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۹	-۰/۳۱	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۵۶	CC(%)	هرسین
۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۵۳	MBE(%)	
۲۴/۱۰	۲۴/۵۰	۳۴/۰۷	۵۸/۱۹	۲۲/۶۲	۲۲/۰۴	۴۶/۱۹	RMSE(mm)	
۸۵/۳۵	۸۶/۷۷	۱۲۰/۶۹	۲۰۶/۱۴	۸۰/۱۲	۷۸/۰۶	۱۶۳/۶۳	CV_RMSE(%)	
۱۴/۰۵	۱۴/۵۰	۲۲/۱۶	۴۸/۳۵	۱۳/۴۶	۱۱/۳۱	۲۵/۶۵	MAE(mm)	
۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۹	-۰/۳۱	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۵۷	PCC(%)	
۰/۸۵۱	۰/۸۴۸	۰/۸۴۳	۰/۸۷۰	۰/۸۹۲	۰/۸۵۳	۰/۶۲۴	CC(%)	کنگاور
-۰/۰۷۹	۰/۱۴۱	۰/۲۸۳	۰/۰۷۸	۰/۱۵۴	-۰/۱۰۵	۰/۱۱۱	MBE(%)	
۱۸/۸۶۹	۲۰/۱۳۲	۲۴/۰۶۴	۱۸/۵۸۴	۱۷/۸۷۶	۱۸/۹۴۴	۳۸/۳۱۶	RMSE(mm)	
۵۷/۹۸۳	۶۱/۸۶۲	۷۳/۹۴۴	۵۷/۱۰۷	۵۴/۹۳۰	۵۸/۲۱۲	۱۱۷/۷۳۸	CV_RMSE(%)	
۱۱/۰۹۲	۱۲/۱۰۵	۱۴/۴۳۹	۱۱/۴۲۹	۱۱/۰۲۱	۱۰/۲۱۳	۲۲/۳۵۶	MAE(mm)	
۰/۸۵۵	۰/۸۵۲	۰/۸۴۷	۰/۸۷۴	۰/۸۹۵	۰/۸۵۷	۰/۶۲۷	PCC(%)	
۰/۸۶۸	۰/۸۴۵	۰/۸۵۸	۰/۹۳۸	۰/۹۲۶	۰/۸۷۹	۰/۶۶۶	CC(%)	سرآرود
۰/۱۵۱	۰/۰۲۳	۰/۳۸۲	۰/۲۲۲	۰/۱۴۵	-۰/۰۵۱	۰/۳۱۷	MBE(%)	
۲۱/۵۵۳	۲۱/۵۰۶	۲۸/۱۰۳	۱۶/۲۳۰	۱۶/۰۰۳	۱۹/۰۱۱	۴۸/۳۹۸	RMSE(mm)	
۶۱/۱۵۳	۶۱/۰۱۹	۷۹/۷۳۷	۴۶/۰۴۹	۴۵/۴۰۵	۵۳/۹۴۰	۱۳۷/۳۲۲	CV_RMSE(%)	
۱۳/۰۶۷	۱۲/۰۰۸	۱۸/۱۷۱	۱۰/۸۹۲	۱۰/۰۶۱	۹/۶۵۰	۲۵/۴۸۳	MAE(mm)	
۰/۸۷۳	۰/۸۵۰	۰/۸۶۳	۰/۹۴۳	۰/۹۳۱	۰/۸۸۴	۰/۶۶۹	PCC(%)	
۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۶۵	CC(%)	سنقر
۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰/۳۱	MBE(%)	
۲۴/۱۸	۲۸/۱۱	۲۰/۸۹	۱۸/۱۷	۱۹/۰۲	۱۹/۵۹	۴۰/۲۷	RMSE(mm)	
۷۷/۰۰	۸۹/۵۱	۶۶/۵۰	۵۷/۸۵	۶۰/۵۸	۶۲/۳۹	۱۲۸/۲۳	CV_RMSE(%)	
۱۳/۰۷	۱۴/۳۴	۱۳/۰۳	۱۰/۷۲	۱۱/۱۸	۱۰/۳۵	۲۴/۵۱	MAE(mm)	
۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۶۵	PCC(%)	

همان‌طور که گفته شد، بالا بودن مقدار CC و PCC و کم بودن MAE، CV-RMSE و RMSE نشان از دقت بالای تخمین‌ها دارد. همچنین مقادیر منفی و مثبت MBE به ترتیب به معنای کم تخمینی و بیش تخمینی داده‌های بارش ماهواره‌ای هستند. برای ایستگاه هرسین ماهواره TERRA با داشتن ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون ۰/۷۷ و همچنین کمترین معیارهای خطای میانگین مجذور مربع خطا ۲۲/۰۴، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا ۷۸/۰۶، میانگین قدر مطلق خطا ۱۱/۳۱ و همچنین میانگین انحراف خطای ۰/۱۱ بهترین برآورد را داشته است.

در ایستگاه کنگاور ماهواره TRMM با توجه به معیارهای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون $0/89$ که بالاترین مقدار را داشته است و همچنین کمترین مقدار معیارهای میانگین مجذور مربع خطا $17/87$ ، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا $57/107$ ، همچنین مناسب بودن میانگین قدر مطلق خطا $11/021$ و میانگین انحراف خطای $0/154$ و بعد از آن TERRA بهترین برآورد را داشته‌اند.

در سرآرود هم ماهواره TRMM با داشتن معیارهای خطای مناسب، بالاترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون $0/93$ و $0/92$ بعد از GPM و کمترین مقدار معیارهای خطای میانگین مجذور مربع خطا 16 ، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا $45/4$ و مقدار مناسب میانگین انحراف خطای $0/145$ و میانگین قدر مطلق خطا $10/61$ مناسب‌ترین برآورد را داشته‌است.

برای ایستگاه سنقر ماهواره GPM با توجه به چهار معیار خطای میانگین مجذور مربع خطا $18/16$ ، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا $57/84$ و میانگین قدر مطلق خطا $10/72$ و ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون $0/87$ و $0/88$ و میانگین انحراف خطای $0/147$ به نسبت بهترین برآورد را داشته‌اند.

نتایج معیارهای احتمالاتی

جدول ۴ معیارهای احتمالاتی برای چهار ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه واقع در حوضه گاماسیاب و داده‌های بارش ماهواره‌های CHRIPS، ERA5، PERSIAN_CDR، GPM، GSM، TRMM، TERRA را نشان می‌دهد.

جدول ۴. معیارهای احتمالاتی داده‌های مشاهداتی و ماهواره در مقیاس ماهانه

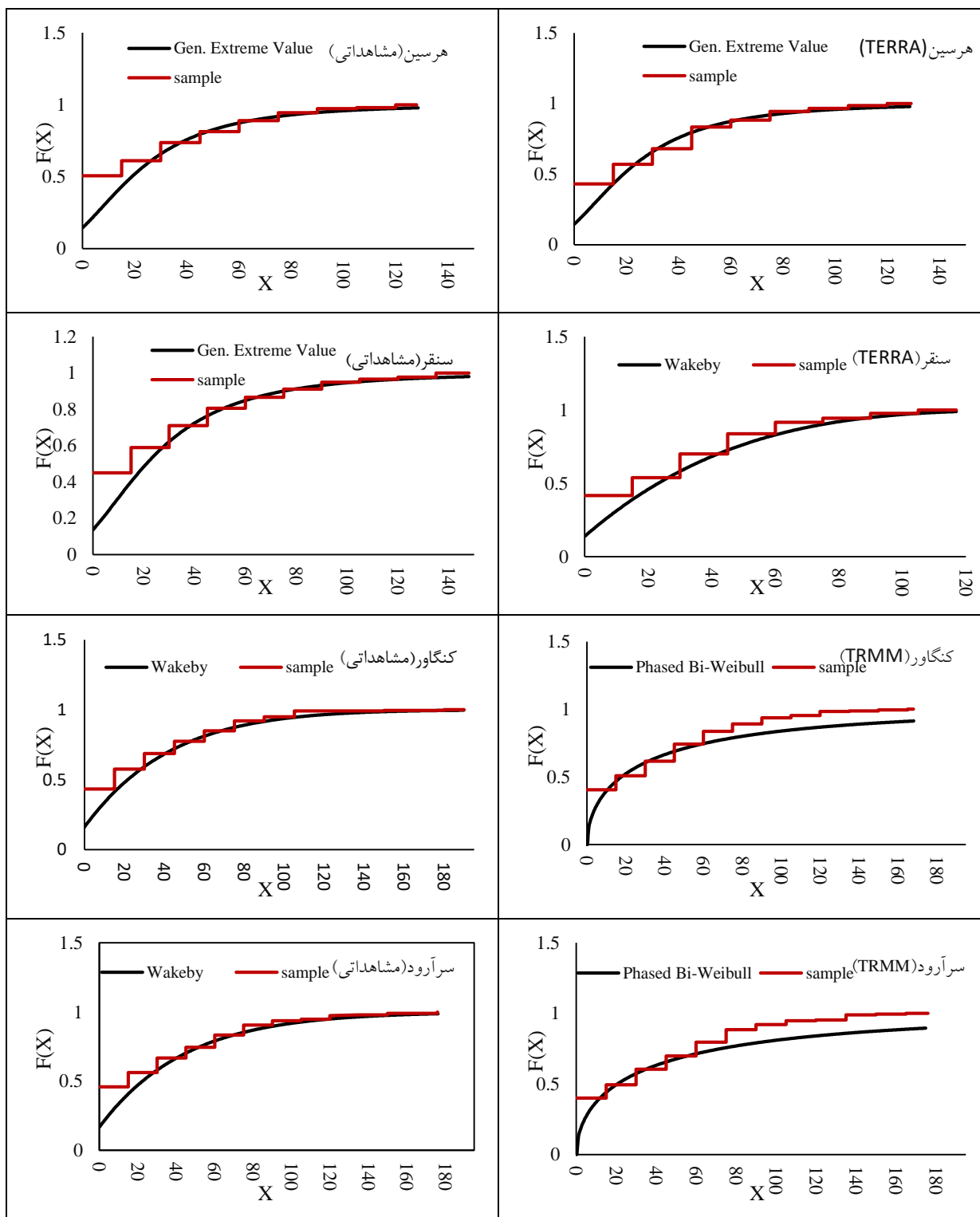
CHRIPS	PERSIANCDR	ERA5	GPM	TRMM	TERRA	GSM	معیار ماهواره	ایستگاه
$0/91$	$0/99$	$0/96$	$0/91$	$0/99$	$0/97$	$1/00$	POD	هرسین
$0/02$	$0/16$	$0/07$	$0/25$	$0/20$	$0/06$	$0/22$	FAR	
$0/90$	$0/83$	$0/89$	$0/69$	$0/80$	$0/92$	$0/78$	CSI	
$93/62$	$11/18$	$102/99$	$121/82$	$123/28$	$102/94$	$127/43$	Rbias	
$0/86$	$1/00$	$0/93$	$0/97$	$1/00$	$0/99$	$1/00$	POD	کنگاور
$0/00$	$0/08$	$0/05$	$0/08$	$0/08$	$0/01$	$0/10$	FAR	
$0/86$	$0/93$	$0/89$	$0/90$	$0/93$	$0/98$	$0/90$	CSI	
$86/25$	$108/11$	$98/68$	$105/41$	$108/11$	$100/00$	$111/11$	Rbias	
$0/90$	$0/99$	$0/94$	$1/00$	$0/99$	$0/95$	$1/00$	POD	سرآرود
$0/02$	$0/12$	$0/03$	$0/17$	$0/18$	$0/03$	$0/15$	FAR	
$0/88$	$0/88$	$0/91$	$0/83$	$0/82$	$0/93$	$0/85$	CSI	
$92/02$	$113/02$	$96/77$	$120/75$	$120/89$	$97/86$	$117/07$	Rbias	
$0/86$	$1/00$	$0/92$	$0/99$	$0/99$	$0/83$	$0/99$	POD	سنقر
$0/01$	$0/08$	$0/05$	$0/13$	$0/16$	$0/02$	$0/13$	FAR	
$0/86$	$0/92$	$0/88$	$0/86$	$0/83$	$0/82$	$0/86$	CSI	
$86/59$	$108/59$	$96/09$	$114/74$	$116/99$	$84/65$	$114/84$	Rbias	

با توجه به اینکه POD، FAR، CSI، RBias به ترتیب هرچه به یک، صفر، یک و صفر نزدیک‌تر باشد داده‌های برآورد شده مناسب‌تر و بیشتر به داده‌های مشاهداتی نزدیک است این معیارها برای هر یک از ایستگاه‌ها به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته که در جدول شماره ۴ لحاظ شده‌اند: در ایستگاه هرسین TERRA با احتمال آشکارسازی $0/97$ با اختلاف اندک از GSM و شاخص موفقیت بحرانی $0/91$ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب $0/057$ و $102/94$ با کمی اختلاف از ماهواره CHRIPS دومین ماهواره با برآورد مناسب است. برای

کنگاور نیز ماهواره TERRA با احتمال آشکارسازی ۰/۹۶ با اختلاف اندک از PERSIAN شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۴ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب ۰/۰۲۵، ۹۹/۱۴ با کمی اختلاف از ماهواره CHRIPS دارای برآورد مناسب است. برای سنقر ماهواره TERRA با احتمال آشکارسازی به ترتیب ۰/۹۷ و شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۳ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی ۰/۰۴، ۱۰۱/۱۴ با مقداری اختلاف از ماهواره CHRIPS برآورد مناسبی داشته است. ایستگاه سرآرود ماهواره TERRA با احتمال آشکارسازی ۰/۹۵ با اختلاف اندک از GSM و GPM شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۳ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب ۰/۰۳، ۹۷/۸۶ با کمی اختلاف از ماهواره CHRIPS ماهواره‌ای با برآورد مناسب است.

نتایج بهترین توزیع تجربی داده‌ها در ایزی فیت

ایزی فیت نرم‌افزار مخصوصی است که برای ارائه تجزیه و تحلیل‌های قابل اطمینان از داده‌ها و انتخاب بهترین مدل، طراحی شده است. این نرم‌افزار کمک می‌کند خیلی راحت و سریع، بهترین توزیع احتمال متناسب با داده‌ها را انتخاب کرد و با این‌گونه، زمان تجزیه و تحلیل خود را نسبت به روش‌های دستی، حدود ۷۰-۹۵ درصد، کاهش داد. از ویژگی‌های کلیدی این نرم‌افزار می‌توان به قابلیت تطبیق خودکار بیش از ۵۵ توزیع برای داده‌های ساده و امکان انتخاب بهترین مدل، اشاره کرد. بهترین آزمون‌های تطبیق کای اسکور، اندرسون دارلین و کلمو گروف_اسمیرنوف است که کمک خواهند نمود تا به مقایسه و تطبیق مدل‌ها پرداخته و معتبرترین مدل را انتخاب کرد. در شکل ۳ نمودار توزیع تجمعی داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌های منتخب برای برآورد داده هر ایستگاه آورده شده است.



شکل ۳. نمودار بهترین توزیع تجمعی داده های بارش ۴ ایستگاه سینوپتیک و داده های ماهواره های ERA5, TERRA

با توجه به شکل ۳ برای دو ایستگاه کنگاور و سرآرود بهترین توزیع برای داده‌های بارش مشاهداتی و ماهواره‌های TRMM با توجه به آزمون کلموگروف_ اسمیرنوف توزیع Wakeby, Phased Bi-Weibull است که در داده‌های مشاهداتی و برآورد شده توسط ماهواره متفاوت است اما در دو ایستگاه هرسین و سنقر که بهترین توزیع برای داده‌های مشاهداتی Gen.ExtremeValue است اما برای دو ماهواره این توزیع متفاوت است و برای ماهواره TERRA، در ایستگاه سنقر Wakeby و برای ماهواره TERRA، Gumbel Max بهترین توزیع هستند.

بحث

با توجه به گرم‌تر شدن زمین و کاهش بارش نیاز به پیش‌بینی‌های بلندمدت بارش برای برنامه‌ریزی و استفاده مناسب از منابع آبی در دسترس انسان برای منطقه موردنظر لازم و ضروری است. داده‌های ماهواره‌ای با سطح پوشش وسیع خود و همچنین سهولت دسترسی، قابلیت استفاده از آن‌ها در پیش‌بینی بارش و نیز پارامترهای هیدرولوژیکی و درنهایت در برنامه‌ریزی‌های منابع آب موردتوجه است. در این پژوهش به مقایسه داده‌های بارش چهار ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه که در حوضه گاماسیاب قرار دارند با داده‌های بارش ماهواره‌های ERA5, CHRIPS, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA پرداخته شده است که برای ایستگاه هرسین از ۲۰۰۸، کنگاور از ۲۰۰۰، سرآرود از ۲۰۰۴ و سنقر از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ داده‌های ماهانه موردبررسی قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که هرچند ماهواره CHRIPS در معیارهای احتمالاتی شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی کمتری داشته است و PERSIAN و GSM احتمال آشکارسازی بالاتری دارند اما با توجه به همه معیارها برای ایستگاه سنقر و هرسین ماهواره TERRA با معیارهای خطای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون برای هر ایستگاه به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۷ و ۰/۸۴ و کمترین معیارهای خطای به ترتیب میانگین مجذور مربع خطا ۰/۲۲/۰۴ و ۱۸/۷۲، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا ۷۸/۰۶ و ۶۰/۶۵، میانگین قدر مطلق خطا ۱۱/۳۱ و ۱۰/۳۴ و همچنین میانگین انحراف خطای ۰/۱۱ و ۰/۰۵ و معیارهای احتمالاتی احتمال آشکارسازی ۰/۹۷ و ۰/۹۶، شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۳ و ۰/۹۱ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب ۰/۰۴ و ۱۰/۱۴ و ۰/۰۵ و ۱۰۲/۷۵ بهترین برآورد را داشته است. این ماهواره بیش‌ترین بارش را که در ایستگاه هرسین و سنقر به ترتیب ۱۲۸/۶ و ۱۴۷/۹ میلی‌متر بوده با ۳/۵ و ۲۶ درصد کاهش ۱۲۴ و ۱۱۰ میلی‌متر برآورد کرده است. برای ایستگاه سرآرود و کنگاور نیز با توجه به معیارهای خطا و شکل نمودار ماهواره TRMM با ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون به ترتیب برای هر ایستگاه ۰/۸۹، ۰/۸۹ و ۰/۹۲، ۰/۹۳ و کمترین معیارهای خطای به ترتیب میانگین مجذور مربع خطا ۱۷/۸۷ و ۱۶/۰۰، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا ۵۴/۹۳ و ۴۵/۴۰۵، میانگین قدر مطلق خطا ۱۳/۴۶ و ۱۱/۰۲۱ و همچنین میانگین انحراف خطای ۰/۱۵۴ و ۰/۱۴۵ و بهترین برآورد را داشته است اما معیارهای احتمالاتی احتمال آشکارسازی در این دو ایستگاه TERRA را برتر برآورد کرده‌اند. ماهواره TRMM بیش‌ترین بارش را در دو ایستگاه سرآرود و کنگاور که به ترتیب ۱۷۶/۲ و ۱۸۹/۸ میلی‌متر بوده است را با ۱۸ درصد کاهش ۱۴۳/۵۹ و ۱۵۵/۴۹ میلی‌متر برآورد کرده است. نتایج این پژوهش با پژوهش گرجی زاده و همکاران (۱۳۹۷) در بالادست سد مارون در حوضه آبریز سر پوک مطابقت دارد. برای دو ایستگاه کنگاور و سرآرود بهترین توزیع برای داده‌های بارش مشاهداتی و ماهواره‌های TRMM با توجه به آزمون کلموگروف_ اسمیرنوف توزیع Wakeby, Phased Bi-Weibull است که در داده‌های مشاهداتی و برآورد شده توسط ماهواره متفاوت است اما در دو ایستگاه هرسین و سنقر که بهترین توزیع برای داده‌های مشاهداتی Gen.ExtremeValue است اما برای دو ماهواره این توزیع متفاوت است و برای ماهواره TERRA، در ایستگاه سنقر Wakeby و برای ماهواره TERRA، Gumbel Max بهترین توزیع هستند.

منابع

- اردونی، معصومه، معماریان، هادی، اکبری، مرتضی، و پوررضا، محسن. (۱۳۹۹). صحت سنجی داده‌های بارش ماهواره GPM-IMERG در مقیاس‌های زمانی نیم‌ساعته و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود). مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۷(۴)، ۱۶۶-۱۴۹.
<https://dx.doi.org/10.22069/jwsc.2020.17531.3301>
- اردونی، معصومه، معماریان، هادی، اکبری، مرتضی، و پوررضا، محسن. (۱۴۰۰). ارزیابی و مقایسه داده‌های بارش ماهواره GPM با مقادیر بارندگی ایستگاه‌های زمینی با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف. مجله علمی سامانه‌های سطوح آبخیز باران، ۹(۲)، ۲۴-۱۱.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9>
- انوری، پوریا، علوی مقدم، محمدرضا، و حسینی، فرید. (۱۳۹۸). تلفیق بهره‌برداری از پایگاه داده ماهواره‌ای و زمینی در مدل‌سازی سامانه منابع آب حوضه آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آمودریا). هفتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب. <https://civilica.com/doc/1035393>
- پای فشرده، فروزان، و حافظ پرست، مریم. (۱۳۹۹). ارزیابی داده‌های بارش منطقه‌ای و داده‌های ماهواره‌های TRMM و PERSIAN و CHIRPS در حوضه آبریز جامیشان. پنجمین کنفرانس ملی کاربرد فناوری‌های نوین در علوم مهندسی، تربت حیدریه. <https://civilica.com/doc/1202746>
- تافته، آرش، ملاح، سینا، و ابراهیمی پاک، نیازعلی. (۱۳۹۹). بررسی نتایج داده‌های روزانه، ده روزه و ماهانه تصاویر ماهواره در تخمین مقدار بارش با استفاده از سامانه Google Earth Engine در استان خوزستان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، ۹(۳)، ۹۳-۱۰۴.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1399.9.3.6.8>
- زنگنه اینالو، محمدرضا، قهرمان، بیژن، و فرید حسینی، علیرضا. (۱۳۹۷). مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و اطلاعات بارش ماهواره‌ای PERSIANN و CMORPH در مقیاس ساعتی و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز شاپور). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۴)، ۱-۱۳.
http://www.iwrr.ir/article_55184.html
- شیرمحمدی، علی، اکبرخانی، زهرا، صابر علی، سید فرهاد، و نستری نصرآبادی، حسین. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی داده‌های بارش ماهواره‌ای GPM و TRMM 3B42 V7 در شمال شرق ایران. نشریه هواشناسی و علوم جو، ۲(۲)، ۱۹۱-۱۷۹.
http://www.ims-jmas.net/article_126709_3b2d3940afcc4382f5b3904b3ed81293.pdf
- صفوی گردینی، مریم، دلبری، معصومه، امیری، میثم، و پیری، جمشید. (۱۳۹۷). واسنجی داده‌های باران سری 3B43 ماهواره TRMM در استان هرمزگان. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۹(۳۵)، ۹۹-۱۱۲.
<https://doi.org/10.22125/iwe.2019.88673>
- عبداللهی، بنفشه، حسینی موغاری، سید محمد، و ابراهیمی، کیومرث. (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM ۷۲۲B۳ و CMORPH به منظور تخمین بارش در حوضه گرگانرود. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱(۳۶)، ۶۸-۵۵.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1396.11.36.5.7>
- عرفانیان، مهدی، کاظم پور، سیما، و حیدری، حسن. (۱۳۹۴). واسنجی داده‌های باران سری B42۳ و B43۳ ماهواره‌ی TRMM در زون‌های اقلیمی ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۲(۴۸)، ۳۰۳-۲۸۷.
<https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=648922>
- قهرمان، بیژن، زنگنه اینالو، محمدرضا، و فرید حسینی، علیرضا. (۱۳۹۷). بررسی تطابق داده‌های بارش ماهواره‌ی TRMM اصلاح‌شده با داده‌های بارش زمینی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه‌ی آبخیز رود شاپور استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۱(۴)، ۵۷-۴۳.
<https://doi.org/10.22092/wmej.2018.123063.1139>
- گرچی زاده، علی، آخوندعلی، علی محمد، شهبازی، علی، و مریدی، علی. (۱۳۹۷). مقایسه و ارزیابی بارش برآورد شده توسط مدل‌های ERA-Interim، CHIRPS و PERSIANN-CDR در بالادست سد مارون، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۱)، ۲۶۷-۲۷۹.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.20.7>
- میری، مرتضی، رحیمی، مجتبی، و نوروزی، علی‌اکبر. (۱۳۹۸). ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۴)، ۹۸۳-۹۷۲.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121397.1469>

References

- Abdollahi, B., Hosseini-Moghari, S. M., & Ebrahimi, K. (2017). Assessment of TRMM 3B42RT V7 and CMORPH Satellites Precipitation Data in order to Estimate Precipitation in Gorganrood Basin-Iran.

- Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 11(36), 55-68.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1396.11.36.5.7> [in Persian]
- Amorim, J. D. S., Viola, M. R., Junqueira, R., Oliveira, V. A. D., & Mello, C. R. D. (2020). Evaluation of Satellite Precipitation Products for Hydrological Modeling in the Brazilian Cerrado Biome. *Water*, 12(9), 2571. <https://doi.org/10.3390/w12092571>
- Anvari, P., Alavi Moghadam, M.R., & Hosseini, F. (2019). Combining the operation of satellite and terrestrial databases in modeling the catchment water resources system (Case study: Amu Darya catchment). the 7th Comprehensive Conference on Flood Management and Engineering.
<https://civilica.com/doc/1035393> [in Persian]
- Bayissa, Y., Tadesse, T., Demisse, G., & Shiferaw, A. (2017). Evaluation of satellite-based rainfall estimates and application to monitor meteorological drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Remote Sensing*, 9(7), 669. <https://doi.org/10.3390/rs9070669>.
- Bitew, M. M., & Gebremichael, M. (2011). Evaluation of satellite rainfall products through hydrologic simulation in a fully distributed hydrologic model. *Water Resources Research*, 47(6). 1-11. <https://doi.org/10.1029/2010WR009917>
- Chua, Z. W., Kuleshov, Y., & Watkins, A. (2020). Evaluation of satellite precipitation estimates over Australia. *Remote Sensing*, 12(4), 678. <https://doi.org/10.3390/rs12040678>
- Erfanian, M., Kazempour, S., & Heidari, H. (2016). Calibration of TRMM satellite 3B42 and 3B43 rainfall data in climatic zones of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(2), 287-303. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=648922> [in Persian]
- Ghahraman, B., Zangeneh Inaloo, M. R., & Faridhoseini, A. R. (2018). An Evaluation of the Accordance of Modified TRMM Satellite Precipitation Data with Observational Data in the Shapour Basin in the Fars Province. *Watershed Management Research Journal*, 31(4), 43-57.
<https://doi.org/10.22092/wmej.2018.123063.1139> [in Persian]
- Gorjizade, A., AkhondAli, A., Shahbazi, A., & Moridi, A. (2019). Comparison and Evaluation of precipitation estimated by ERA-Interim, PERSIANN-CDR and CHIRPS models at the upstream of Maroon dam. *Iran-Water Resources Research*, 15(1), 267-279.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.20.7> [in Persian]
- Jiang, D., & Wang, K. (2019). The role of satellite-based remote sensing in improving simulated streamflow: A review. *Water*, 11(8), 1615. <https://doi.org/10.3390/w11081615>.
- Kumar, D.N., & TV Reshmidevi, T.V. (2013). Remote sensing applications in water resources. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93, 163-188. https://doi.org/10.1142/9789812777614_0008
- Miri, M., Rahimi, M., & Noroozi, A. (2019). Evaluation and comparison of GPM and TRMM daily precipitation with observed precipitation across Iran. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 972-983. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121397.1469> [In Persian]
- Ordooni, M., Memarian, H., Akbari, M., & Pourreza, M. (2021). Evaluation and Comparison of GPM Satellite Precipitation Data with Meteorological Station using Kolmogorov-Smirnov Test. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9(2), 11-24. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9> [In Persian]
- Ordouni, M., Memarian, H., Akbari, M., & Pourreza, M. (2020). Accuracy assessment of GPM-IMERG satellite precipitation data on half-hourly and daily time scales (Case study: Gorganroud Basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(4), 149-166. <https://dx.doi.org/10.22069/jwsc.2020.17531.3301> [In Persian]

- Payfeshordeh, F., & Hafezparast, M. (1399). Evaluation of regional precipitation data and TRMM, PERSIAN and CHIRPS satellites in Jamishan catchment, Fifth National Conference on Application of New Technologies in Engineering Sciences, Torbat Heydariyeh. <https://civilica.com/doc/1202746> [In Persian]
- Qin, Y., Chen, Z., Shen, Y., Zhang, S., & Shi, R. (2014). Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. *Remote Sensing*, 6(11), 11649-11672. <https://doi.org/10.3390/rs61111649>.
- Safavi Gherdini, M., Delbari, M., Amiri, M., & Piri, J. (2019). Calibration of TRMM 3B43 precipitation data in Hormozgan province. *Irrigation and Water Engineering*, 9(3), 99-112. <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.88673> [In Persian]
- Shirmohammadi Aliakbarkhani, Z., Saberli, S. F., & Nastari Nasrabadi, H. (2019). Evaluation and Zoning of GPM and TRMM 3B42 V7 Satellite Rainfall Data in Northeast Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 2(2), 179-191. http://www.ims-jmas.net/article_126709_3b2d3940afcc4382f5b3904b3ed81293.pdf [In Persian]
- Tafteh, A., Mallah, S., & Ebrahimipak, N. (2020). Evaluation of Daily, Decade and Monthly Data Satellite Images to Estimate of Precipitation Using Google Earth engine in Khuzestan Province. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(3), 93-104. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1399.9.3.6.8> [In Persian]
- Taghavi, F., Neiestani, A., & Sarmad, Gh. (2012). WRF numerical model forecasts to assess short-term rainfall during a month in Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 39(2), 145-170. <https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2013.35196>
- Tao, H., Fischer, T., Zeng, Y., & Fraedrich, K. (2016). Evaluation of TRMM 3B43 precipitation data for drought monitoring in Jiangsu Province, China. *Water*, 8(6), 221. <https://doi.org/10.3390/w8060221>
- Toté, C., Patricio, D., Boogaard, H., Van der Wijngaart, R., Tarnavsky, E., & Funk, C. (2015). Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique. *Remote Sensing*, 7(2), 1758-1776. <https://doi.org/10.3390/rs70201758>
- Tramblay, Y., Thiemi, V., Dezetter, A., & Hanich, L. (2016). Evaluation of satellite-based rainfall products for hydrological modelling in Morocco. *Hydrological Sciences Journal*, 61(14), 2509-2519. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1154149>
- Zangenehinanlu, M., Ghahraman, B., & Faridhosseini, A. (2018). Comparison of observed rainfall and satellite rainfall data PERSIANN and CMORPH - interpolation methods in hourly and daily scale. (case study: Shopoor basin). *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 1-13. http://www.iwrr.ir/article_55184.html [in Persian]