



Spatiotemporal Estimation of Precipitation Using GPM Satellite Data in Jazmourian Catchment

K. Raispour¹, B. Salahi^{2*}, B. Abad³

Received: 11-11-2021

Revised: 15-12-2021

Accepted: 14-03-2022

Available Online: 21-05-2022

How to cite this article:

Raeispour K., Salahi B., and Abad B. 2022. Spatiotemporal Estimation of Precipitation using GPM Satellite Data in Jazmourian Catchment. Journal of Water and Soil 36(1): 145-165. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/JSW.2022.73483.1113](https://doi.org/10.22067/JSW.2022.73483.1113)

Introduction

Precipitation is the most important element of water level that recognizing its temporal-spatial characteristics at different scales is an important step towards better understanding and modeling of the hydrological cycle and related phenomena such as floods. Drought, landslides, snow and climate change are on a regional and global scale. Despite the large number of studies conducted in this field, there is still a lot of research need in many parts of the world for reasons such as lack of weather stations to access ground observation data and the non-uniform spatial distribution of these stations. Nowadays, with significant technological advances, including the advent of various satellites, access to a variety of precipitation data has been greatly facilitated. Among the latest precipitation products of various satellites, we can refer to the Global Precipitation Measurement (GPM) satellite data. Related to the subject of the present study, it is stated that most of the studies on rainfall in the Jazmourian catchment area have been based on station data, which due to the poor distribution of meteorological stations; it is not possible to estimate the temporal-spatial distribution of precipitation in the study basin. In this study, the temporal-spatial analysis of precipitation using GPM satellite precipitation products as one of the most important climatic parameters in the basin. Due to the undeniable importance of rainfall in this basin, it seems that the analysis of variable rainfall can provide valuable climatic information to researchers and planners. To pave the way for new study platforms.

Materials and Methods

In this study, satellite data (GPM) with a spatial resolution of 0.1×0.1 degrees from January 2001 to December 2019 have been used for spatiotemporal analysis of precipitation in the Jazmourian catchment. The GPM satellite provides more accurate and realistic estimates than other TRMM satellites. In this study, a calibrated precipitation product of level 3 of 6 GPM satellite versions was used. Relevant data are in NCDF format and have UTM image system with WGS84 datum, which after quality control and preprocessing, by specialized software (ENVI, ArcGIS and EXCELL) is converted into network data and data tables and the necessary outputs based on the geographical boundary of the catchment was extracted. The average monthly rainfall was extracted from the average daily rainfall belonging to each month and the seasonal average was extracted from the average of three months related to each season. Spatially, the values of each pixel are the conditions of the average amount of precipitation related to each time series (monthly, seasonal and annual) during the statistical period.

Results and Discussion

Based on the results, the average rainfall in the Jazmourian catchment was estimated as 144 mm, the spatial distribution of which ranged from 83 to 232 mm. The maximum rainfall occurred in the northern and western parts and the minimum occurred in the central and eastern parts of the basin. Furthermore; based on the annual

1- Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2 and 3- Professor and Ph.D. Graduated of Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: bromand416@yahoo.com)

distribution of rainfall during the statistical period under study, the highest rainfall was in 2019 with 239 mm and the lowest with 53 mm in 2001. In terms of seasonal distribution, winter and spring with values of 118 and 88 mm, respectively, showed the highest and autumn and summer with values of 22 and 45 mm, showed the lowest values of precipitation. Also, during the statistical period under study, winter 2005 with 193 mm had the highest and autumn 2003 with 1 mm had the lowest seasonal rainfall in the basin. In addition, an interesting point is the spatial displacement of high-pressure nuclei in different seasons of the year; so that these nuclei are observed in the cold seasons of the year in the northern and western parts and in the warm seasons of the year in the southwestern and southeastern parts of the basin. The spatial distribution of monthly precipitation indicates the occurrence of the highest monthly precipitation in February and March and the lowest in May and September. Also, the monthly rainfall time series indicates the maximum incidence of precipitation in February 2001 (94 mm) and its minimum in January 2001 (no precipitation).

Conclusion

Precipitation as a source of fresh water on Earth is one of the most important hydrological parameters, the importance of which is undeniable in the survival of human communities and natural ecosystems. Due to the large temporal-spatial variations of precipitation, its study seems necessary. But one of the main challenges for studying this phenomenon is the lack of ground stations as well as their improper distribution. Today, with advancement of technology and remote sensing, a diverse range of satellite data has become available to environmental scientists. In this regard, in the present study, using GPM satellite data and in the statistical period 2001-2019, the temporal-spatial distribution of precipitation in the Jazmourian catchment area in southeastern Iran has been investigated. In general, the high variability of rainfall in Jazmourian catchment in different months and seasons of the year, shows the dominance of arid and low climate in this basin. Therefore, due to the rainfall situation and its high fluctuations under climate change conditions, in the near future, this basin will face serious challenges and crises in water resources management and the sustainability of natural ecosystems. The GPM satellite data used in this study showed appropriate and expected results from the spatial-temporal distribution of precipitation in the Jazmourian catchment and showed a good correlation with meteorological stations. In general, the use of GPM satellite data in the present study is appropriate, which due to its appropriate spatio-temporal separation, gives reliable and satisfactory results. On the other hand, inadequate spatial coverage of meteorological stations and their large statistical vacuum in such a relatively large basin justify the use of this valuable and useful satellite data.

Keywords: GPM satellite, Jazmourian Catchment, Precipitation, Spatiotemporal

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۱، ص ۱۴۵-۱۶۵

برآورد زمانی - فضایی بارش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی GPM در حوضه‌ی آبریز جازموریان

کوهزاد رئیس پور^۱ - پرومند صلاحی^{۲*} - بهروز آباد^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

چکیده

بارش به عنوان مهم‌ترین متغیر در چرخه‌ی هیدرولوژیکی تأمین کننده‌ی آب، نقش مهمی در تداوم حیات سیاره‌ی زمین ایفا می‌کند. پایداری اکوسیستم‌های مختلف گیاهی و جانوری در حوضه‌ی آبریز جازموریان وابستگی بسیار زیادی به مقدار بارش دارد. تغییرپذیری بالای بارش، تاب‌آوری این حوضه را با چالشی جدی روبرو نموده است. با توجه به کمبود ایستگاه‌های زمینی و پراکنش نامناسب آن‌ها در این حوضه، در تحقیق حاضر به واکاوی تغییرات زمانی - فضایی بارش طی دوره‌ی (۲۰۱۹-۲۰۰۱) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی سنجنش جهانی بارش (GPM) پرداخته شد. در ابتدا داده‌های بارش مورد نیاز با تفکیک فضایی 0.1×0.1 درجه و تفکیک زمانی ماهانه، فصلی و سالانه فراهم گردید. پس از انجام پیش پردازش‌های لازم در محیط نرم‌افزارهای گرافیکی و آماری، با استفاده از روش‌های زمین آماری نرم‌افزار GIS به پهنه بندی توزیع فضایی بارش اقدام و در نهایت به تفسیر خروجی‌های مربوطه پرداخته شد. براساس نتایج، توزیع فضایی بارش حوضه‌ی آبریز جازموریان در دوره‌ی آماری مورد مطالعه از ۲۳۲-۸۳ میلی‌متر متغیر بوده است. بیشینه‌ی بارش در بخش‌های شمالی و غربی و کمینه‌ی آن در نواحی مرکزی و شرقی حوضه رخ داده است. به لحاظ توزیع فصلی، مقدار بارش در زمستان ۷۳، بهار ۴۷، تابستان ۱۲ و پاییز نیز ۱۲ میلی‌متر برآورد گردید. واکاوی بارش ماهانه نیز بیان‌گر رخداد بیش‌ترین مقدار بارش در ماه‌های مارس (۳۳ میلی‌متر) و فوریه (۳۲ میلی‌متر) و کم‌ترین آن در ماه‌های سپتامبر (۱ میلی‌متر) و می، ژوئن و اکتبر (۳ میلی‌متر) است. به طور کلی، نتایج حاکی از تغییرپذیری بالای بارش و حاکمیت شرایط خشک در حوضه‌ی آبریز جازموریان است.

واژه‌های کلیدی: بارش، حوضه‌ی آبریز جازموریان، زمانی - فضایی، ماهواره‌ی GPM

مقدمه

متغیرهای اساسی برای ارزیابی موجودیت بالقوه‌ی منابع آب به شمار می‌رود. آب حاصل از بارندگی عامل اصلی تبادل گرما در فضای جو - زمین و حفظ تعادل انرژی در اندرکنش گردش‌های جوی - اقیانوسی می‌باشد. این پدیده به عنوان منبع تأمین آب شیرین، چرخه‌های آب و انرژی روی زمین را به هم پیوند می‌دهد. آگاهی از زمان، مکان و چگونگی رخداد بارندگی برای مطالعات علمی و همچنین جامعه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. علاوه بر این‌ها؛ براساس پژوهش (Dobson et al., 1997)، به لحاظ اهمیت و کاربرد در بین موضوعات علوم محیطی، این متغیر (بارش) به عنوان یکی از ارکان اصلی مطالعه‌ی تغییر اقلیم می‌باشد؛ زیرا به طور مستقیم بر روی

بارش به عنوان متغیر حیات‌بخش سیاره‌ی زمین، یکی از

۱- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲ و ۳- به ترتیب استاد و دانش آموخته دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: bromand416@yahoo.com

DOI: 10.22067/JSW.2022.73483.1113

تکنیک‌های سنجش از دور، پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب داده‌های آن است که تخمین دقیق و معتبری از تغییرات پدیده‌ی مذکور ارائه داده و داده‌های بارشی ارزشمندی را از نواحی دوردست و فاقد داده مانند کوهستان‌ها، اقیانوس‌ها و بیابان‌ها فراهم می‌نماید (Maussion et al., 2021). در این میان از جدیدترین داده‌های بارش ماهواره‌های مختلف، در پژوهش کریساتوم و همکاران (Kirschbaum et al., 2017) به داده‌های ماهواره‌ی سنجش جهانی بارش (GPM) اشاره شده است. این ماهواره با پوششی جهانی، جزئیات چگونگی رخداد بارش و توزیع مکانی آن و همچنین تغییرات الگوهای بارش را در در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه بررسی می‌کند. علاوه بر این‌ها؛ محصولات ماهواره‌ی مذکور برای مدل‌سازی و تخمین تأثیرات مخاطرات (از قبیل سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها)، بلاپای جوی، پیش‌بینی کشاورزی و هشدارهای قحطی به طور وسیعی استفاده شده‌است. به طور کلی ماهواره‌ی GPM به جمع‌آوری داده‌های ضروری برف و باران در راستای انجام مطالعات کاربردی می‌پردازد. بنابراین، با توجه به محدودیت کمی و همچنین قدرت تفکیک فضایی پایین داده‌های ایستگاهی، امروزه مطالعات زیادی به ارزیابی تغییرات بارش با استفاده از محصولات ماهواره‌ای پرداخته‌اند. برای نمونه در پژوهشی که به وسیله‌ی کانون و همکاران (Cannon et al., 2018) جهت صحت-سنجی داده‌های ماهواره‌ای بارش، به مقایسه‌ی داده‌های زمینی با داده‌های بارش ماهواره‌های GPM و مدل MERRA در حوضه‌ی آبریز کشف‌رود پرداخته شد، داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM در تخمین بارش روزانه در منطقه‌ی مورد مطالعه، نسبت به داده‌های بارش مدل MERRA از دقت بسیار بالاتری برخوردار بودند. به استناد این مطالعه، داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM همبستگی بسیار خوبی با داده‌های بارش ایستگاهی نشان داده و از توانایی کافی برای پایش توزیع زمانی-فضایی بارندگی برخوردار بودند. در تحقیق علی بخشی و همکاران (Ali-bakhshi et al., 2018) که با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM بر روی همین حوضه انجام شده است، یافته‌ها حاکی از دقت بالای داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM در مقیاس زمانی ماهانه بوده‌است. براساس نتایج دیگر پژوهشگران، داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM از دقت کافی برای برآورد رفتار فضایی بارش غرب ایران برخوردار بوده و همچنین توانایی بهتر این ماهواره در مقیاس‌های زمانی بزرگ‌تر (ماه و سال) نیز آشکار شده‌است (Sadeghi et al., 2019). در تحقیق رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2010) که به صحت‌سنجی داده‌های بارش روزانه‌ی حاصل از داده‌های ماهواره‌های TRMM، ERA- و Interim، پرداخته شده‌است، نتایج حاکی از همبستگی مناسب داده‌های GPM با مشاهدات ایستگاه‌های سینوپتیک بوده‌است. همچنین امامی و همکاران (Emami et al., 2020) دقت و عملکرد

ویژگی‌های اقلیم جهانی و سیستم چرخه‌ی بیوشیمیایی زمین تأثیرگذار است. در همین راستا، براساس تحقیق یاراحمدی و همکاران (Yarahmadi et al., 2015)، بارش به عنوان یکی از بنیادی‌ترین متغیرهای آب و هواشناختی، از یک سو از سامانه‌های گردش عمومی جو و از سوی دیگر از عوامل محلی از قبیل ماهواره‌ی، موقعیت جغرافیایی و موقعیت ریاضی و ویژگی‌های زمین‌شناسی و فیزیکی سطح زمین تأثیر می‌پذیرد. یاتاگا و همکاران (Yataga et al., 2012) پدیده‌ی بارش را به دلیل اهمیت انکارناپذیر در تأمین منابع آبی و متعاقب آن تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر زندگی انسان و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی، به عنوان یکی از موضوعات بسیار مهم در بین محققان علوم محیطی قلمداد کردند. همچنین در پژوهش سروچت و همکاران (Crochet et al., 2007) بارش به عنوان مهم‌ترین متغیر تراز آب مشخص شده است که شناخت ویژگی‌های زمانی-فضایی آن در مقیاس‌های مختلف، گامی مهم در جهت درک و مدل‌سازی بهتر چرخه‌ی هیدرولوژی و پدیده‌های مرتبط با آن از قبیل سیلاب، خشکسالی، زمین لغزش، برف و تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌باشد. با این وجود؛ در تحقیق حلبیان (Halabian, 2016)، بارش از جمله رخدادهای جوی است که به دلیل شرایط پیچیده و تأثیرپذیری از عوامل گوناگون و ناشناخته، هنوز هم ابهامات زیادی در درک و پیش‌بینی آن وجود دارد. بر همین اساس، ایگوچی و همکاران (Iguchi et al., 2020) به تغییرپذیری بسیار زیاد این پدیده نسبت به سایر عناصر اقلیمی اشاره کرده‌اند. زیرا در زمان و فضا و به ویژه در مناطق مرتفع کوهستانی نوسان زیادی را نشان می‌دهد. در همین راستا مطالعات پرشماری در جهان و ایران با استفاده از روش‌های متنوعی بر روی بارش به انجام رسیده است که در این میان می‌توان به مطالعات مبتنی بر تحلیل آماری بارش (Tongal H. 2019; Verma et al. 2019) Kiani et al., 2020؛ تحلیل همیدی بارش (Chavoshian and Katiraie- Rousta et al., 2020 Boroujerdy, 2019; Vélez et al., 2019; Poorzaydi, 2019 Lussana, 2021؛) اشاره نمود. علی‌رغم تعدد مطالعات انجام شده در این خصوص، هنوز هم در بسیاری از نقاط جهان از جمله نواحی مرتفع کوهستانی و صعب‌العبور و همچنین بیابان‌های پهناور و دوردست، به دلایلی از قبیل خلأ ایستگاه‌های هواشناسی جهت دستیابی به داده‌های مشاهدات زمینی و توزیع فضایی غیریکنواخت این ایستگاه‌ها، نیازهای تحقیقاتی زیادی وجود دارد. با این وجود؛ امروزه با پیشرفت‌های شتابان و چشم‌گیر تکنولوژیکی از جمله پیدایش انواع ماهواره‌ها، دستیابی به داده‌های متنوعی از بارش بسیار تسهیل شده‌است (Alexakis and Tsanis, 2016). سنجش از دور به عنوان ابزار کارآمد، کاستی‌های اندازه‌گیری‌های زمینی را کاهش داده و مشکلات فعلی را از میان برداشته‌است. مزیت اصلی پایش پدیده‌ی بارش با استفاده از

جازموریان، در پژوهش حاضر تلاش می‌شود تا با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM با قدرت تفکیک مکانی 0.1×0.1 و زمانی روزانه، ویژگی‌های زمانی و فضایی بارش طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۹ - ۲۰۰۱ ارائه شده و اطلاعات اقلیمی ارزشمندی را در اختیار محققان و برنامه‌ریزان قرار داده تا زمینه‌ساز بسترهای مطالعاتی جدیدی شود.

منطقه‌ی مورد مطالعه

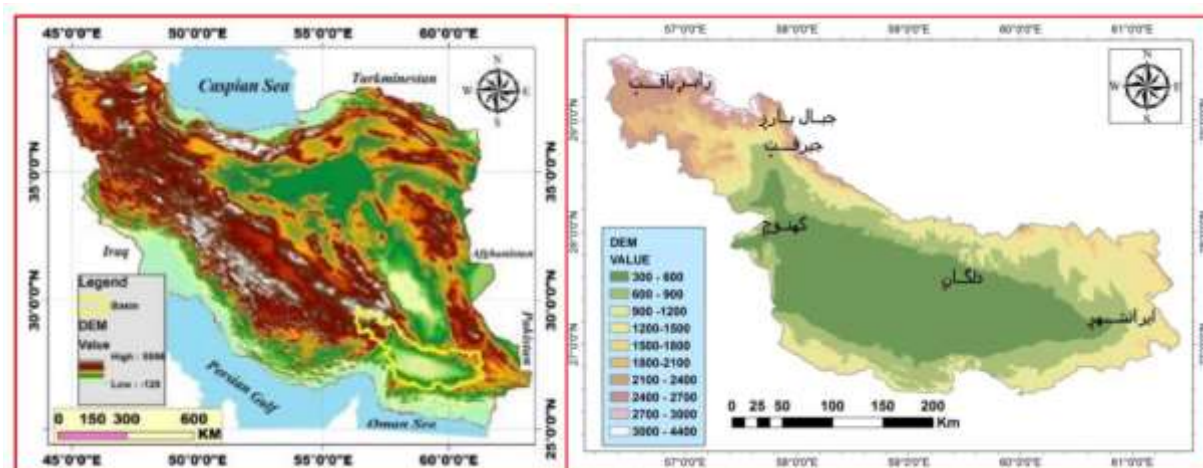
حوضه‌ی آبریز جازموریان یکی از مهم‌ترین زیرحوضه‌های آبریز در جنوب شرق ایران، با گستره‌ای حدود $69/600$ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی $26^{\circ} 35' - 29^{\circ} 35' N$ و $56^{\circ} 15' - 61^{\circ} 25' E$ واقع می‌باشد. این حوضه با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی از جنوب استان کرمان تا جنوب غرب استان سیستان و بلوچستان گسترده شده است (شکل ۱). حوضه‌ی آبریز جازموریان به وسیله‌ی رشته کوه‌های جبال بارز و شهسواران از حوضه‌ی آبریز لوت در شمال و با رشته کوه‌های زاگرس (مکران) از حوضه‌ی آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب جدا می‌شود (Afshin, 2004). در بخش مرکزی این حوضه، فرورفتگی بیضوی شکلی با مساحت 3775 کیلومتر مربع و ارتفاع کم‌تر از 600 متر وجود دارد که در واقع باتلاق نهایی کلیه‌ی جریان‌های سطحی اطراف است. ارتفاع پست‌ترین بخش این حوضه (دریاچه‌ی جازموریان) از سطح دریای آزاد 350 متر و بلندترین نقطه‌ی آن که در شمال حوضه واقع است، حدود 4400 متر می‌باشد. به لحاظ شرایط اقلیم‌شناسی نیز، به جز ارتفاعات بلند نیمه‌ی شمالی، شرقی و تا حدی جنوبی حوضه که دارای اقلیمی نیمه خشک می‌باشد، در سایر مناطق به سمت بخش‌های داخلی با کاهش ارتفاع و متعاقب آن افزایش شدید دما، اقلیمی خشک و فراخشک حاکم است (Pashaei, 2004). هلیل رود از شمال غرب و رودخانه‌ی بمپور از شرق به عنوان دو رود اصلی تغذیه‌کننده‌ی آب این حوضه هستند (Sanjari et al., 2020).

داده‌ها و روش‌شناسی

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ی (GPM^1) با تفکیک فضایی 0.1×0.1 درجه از ژانویه ۲۰۰۱ تا دسامبر ۲۰۱۹ برای واکاوی زمانی - فضایی بارش در حوضه‌ی آبریز جازموریان استفاده شده است. براساس پژوهش (Huffman et al., 2015)، ماهواره‌ی GPM به عنوان یک سیستم رادیومتریکی و راداری پیشرفته، با همکاری سازمان فضایی آمریکا (NASA) و آژانس اکتشافات فضایی ژاپن برای مشاهده‌ی بارش جهانی به فضا پرتاب گردیده است.

ماهواره‌ی GPM را در تخمین بارش ماهانه در حوضه‌ی آبریز گرگانود مناسب تشخیص دادند و استفاده از داده‌های بارش این ماهواره را در نواحی بدون ایستگاه زمینی مفید و ارزشمند قلمداد کرده‌اند. به طور کلی، امروزه داده‌های ماهواره‌ای از چنان اهمیتی برخوردار هستند که به نظر می‌رسد تنها راه حل عملی برای یک تخمین جامع از مقدار بارش در سطح جهان، استفاده از داده‌های مذکور باشد (Villarini and Krajewski 2008; Yong et al., 2012). مرور پیشینه‌های مرتبط با موضوع پژوهش پیش رو، بیان‌گر این مطلب است که اغلب مطالعات انجام شده در خصوص بارش‌های منطقه‌ی مورد مطالعه مبتنی بر داده‌های ایستگاهی بوده است که با توجه به پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، به خوبی از عهده‌ی برآورد توزیع زمانی - فضایی بارش در حوضه‌ی مورد مطالعه برنیامده است. بنابراین در این تحقیق به واکاوی زمانی - فضایی بارش با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در حوضه‌ی آبریز جازموریان واقع در جنوب شرق ایران (میان استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان) پرداخته می‌شود. با توجه موقعیت مکانی این منطقه یعنی قرارگیری در عرض‌های جغرافیایی پایین (جنب حاره) که نمایان‌گر اقلیمی گرم و خشک می‌باشد، به خوبی می‌توان به اهمیت متغیر بارش در این حوضه پی برد. در بخش‌های میانی این حوضه، چاله‌ی فرو افتاده‌ای وجود دارد که در مواقع ترسالی گستره‌ی وسیعی را پوشش می‌دهد و به نام تالاب جازموریان شناخته می‌شود. با توجه به تداوم خشکسالی‌های شدید در دو دهه‌ی اخیر، بر خشکی و شکنندگی محیطی در حوضه‌ی آبریز جازموریان افزوده شده و وقوع رویدادهای گردوغبار به عنوان یکی از پیامدهای اصلی کمبود بارش، از گستره و شدت بیش‌تری برخوردار شده است (Fooladi et al., 2020). از سوی دیگر، کمبود ایستگاه‌های هواشناسی و پراکنش نامناسب آن‌ها سبب شده که در گستره‌ی وسیعی از جمله نقاط مرتفع کوهستانی و همچنین دشت‌های داخلی حوضه، اطلاعات بارشی قابل اعتمادی در دسترس نباشد. بر همین اساس، در راستای رفع کمبود داده‌های بارشی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با تفکیک فضایی - زمانی مناسب می‌تواند گامی مهم در جهت برآورد توزیع زمانی - مکانی بارش این حوضه قلمداد شود. علاوه بر این‌ها؛ وجود قطب‌های کشاورزی مهمی از قبیل جیرفت، فاریاب و رودبار جنوب در استان کرمان و ایرانشهر، دلگان، اسپکه، بمپور، سردگان و سرتختی در استان سیستان و بلوچستان (Negarsh and Khosravi, 1998) و همچنین تراکم جمعیتی بالای برخی از این دشت‌های حاصل‌خیز، لزوم توجه ویژه به بحث منابع آبی را به طور قابل توجهی برجسته می‌کند.

بنابراین با توجه به اهمیت انکارناپذیر بارش در حوضه‌ی آبریز



شکل ۱- حوضه‌ی آبریز جازموریان و موقعیت آن در ایران
Figure 1- Jazmourian catchment and its position in Iran

دیتوم WGS84 برخوردار بوده که پس از کنترل کیفی و پیش‌پردازش، توسط نرم‌افزارهای تخصصی (ENVI, ArcGIS) و EXCELL مورد پردازش قرار گرفت. این داده‌ها که به صورت رقمی بوده و مقادیر آنها ارزش عددی مقدار بارش بر حسب میلی‌متر (mm) به ازای هر پیکسل است، با استفاده از نرم‌افزارهای فوق تبدیل به داده‌های شبکه‌ای و جداول اطلاعاتی شده و خروجی‌های لازم بر اساس مرز جغرافیایی حوضه‌ی آبریز جازموریان استخراج گردید. به طور کلی خروجی‌های حاصل از داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM نتیجه‌ی اعمال محاسبات بر روی دو ماتریس ماهانه به ابعاد ۲۲۸×۶۶۰ (معرف تعداد مشاهدات در ماه‌های پیاپی از ۲۰ سال مورد مطالعه (۲۰×۱۲) و ۶۶۰ معرف تعداد نقاط شبکه‌بندی شده‌ی ماهواره‌ی GPM با قدرت تفکیک مکانی افقی $۰/۱ \times ۰/۱$ درجه در پهنه‌ی حوضه‌ی آبریز جازموریان) و فصلی به ابعاد ۶۶۰×۷۶ معرف تعداد مشاهدات در فصول پیاپی (۱۹×۴) است. به عبارتی دیگر، میانگین بارش ماهانه از میانگین بارش روزانه‌ی متعلق به هر ماه و میانگین فصلی از میانگین سه ماه مربوط به هر فصل استخراج گردید. به لحاظ مکانی نیز، مقادیر هر پیکسل، شرایط میانگین مقدار بارش مربوط به هر سری زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) در طول دوره‌ی آماری است.

اعتبارسنجی داده‌ها

یکی از مهم‌ترین الزامات قبل از ارائه‌ی یافته‌های حاصل از به کارگیری داده‌های سنسور از دور در حوزه‌های مطالعاتی مختلف، اعتبارسنجی آن‌ها است. به منظور نشان دادن دقت داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM از یک سو و از سوی دیگر مقایسه‌ی نتایج آن نسبت به برآورد مدل ماهواره‌ی هم‌تراز آن یعنی TRMM، از

همچنین در همین زمینه (Yong et al., 2015) بیان کرده است که این ماهواره شامل یک ماهواره‌ی مشاهده‌ی مرکزی و هشت ماهواره‌ی ترکیبی دیگر است که در مقایسه با دیگر ماهواره‌های تخمین بارش (TRMM^۱) برآوردهای دقیق‌تر و واقعی‌تری را نشان می‌دهد. هر یک از ماهواره‌های ترکیبی GPM با فراهم‌سازی یک داده‌ی سنسوری موج کوتاه، سبب دستیابی به یک پوشش جهانی بهتری می‌شوند. محصولات GPM داده‌های ساعتی، روزانه و ماهانه‌ی بارش را با تفکیک فضایی $۰/۱ \times ۰/۱$ درجه برای کل جهان فراهم می‌نمایند (Junzhi et al., 2012). حساسیت بالای رادار تشخیصی ماهواره‌ی GPM نسبت به دیگر ماهواره‌های باران‌سنجی، سبب دقت بیش‌تر آن شده‌است. مطالعات متعددی نشان داده است که از میان داده‌های بارش ماهواره‌های مختلف، داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM به عنوان دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین آن‌ها بوده و به طور وسیعی در زمینه‌های متنوعی استفاده شده‌است (Yuan et al., 2018; Tang et al., 2020; Sharifi et al., 2016; Li et al., 2015). در این خصوص در پژوهش (al., 2021) به برخی از کاربردهای ماهواره‌ی مذکور از قبیل بارندگی‌های شدید، پیش‌بینی مخاطرات و شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی اشاره شده است. در این تحقیق نیز از داده‌ی بارش کالیبره شده‌ی سطح ۳ نسخه‌ی ۶ ماهواره‌ی GPM (GPM3IMERGDF v06) که از وبگاه <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets> دریافت شده است، استفاده گردید. داده‌های مربوطه دارای فرمت NCDF و از سیستم تصویر UTM با

1- Tropical Rainfall Measuring Mission

توسط ماهواره‌ی GPM در حوضه‌ی آبریز جازموریان ۵ میلی متر بیش‌تر از مقادیر بارش حاصل از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک است. به لحاظ فصلی نیز میانگین مقادیر بارش برآورد شده توسط ماهواره‌ی مورد استفاده، در فصل بهار (مارس، آوریل و می) ۳ میلی‌متر کم‌تر از برآورد بارش ایستگاه‌های هواشناسی است، اما در سایر فصول (تابستان، پاییز و زمستان) ماهواره‌ی GPM برآورد بیش‌تری را نشان داده است. به لحاظ ماهانه نیز کم‌ترین مقدار اختلاف با مقدار ۲ میلی متر مربوط به ماه ژوئن و بیش‌ترین اختلاف با مقدار ۱۲ میلی متر در ماه مارس برآورد گردید. همچنین براساس ضریب همبستگی پیرسون (Rp)، مقدار ضریب تعیین بین مقادیر بارش برآورد شده توسط ماهواره‌ی GPM و ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی، در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه از ۰/۸۴ تا ۰/۹۳ متغیر بوده است که بیان‌گر همبستگی بسیار قوی بین آن‌ها می‌باشد (شکل ۲).

نتایج

توزیع فضایی بلند مدت

برخی از پارامترهای مربوط به توزیع فضایی بارش در حوضه‌ی آبریز جازموریان طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۱ در شکل ۳ آمده است. به طور کلی براساس شکل ۳-ج، میانگین بلند مدت توزیع مکانی بارش در این حوضه از جنوب شرق به شمال غرب افزایش می‌یابد؛ به طوری که بیشینه‌ی بارش در بخش‌های شمالی و همچنین نیمه‌ی غربی این حوضه به ۲۳۲ میلی‌متر می‌رسد. در مورد علت تمرکز بیشینه‌ی فضایی بارش در این نواحی، می‌توان دو عامل مهم؛ یکی اثر برجسته‌ی عوامل محلی از جمله وجود ارتفاعات بلند و دیگری عرض جغرافیایی را مؤثر قلمداد کرد. در توضیح عامل دوم نیز می‌توان به فاصله‌ی کم‌تر بخش‌های مذکور نسبت به منطقه‌ی عمل الگوهای بارشی غالب بر ایران اشاره نمود که موقعیت جغرافیایی بهتر و قرارگیری در مسیر سامانه‌های ورودی شمالی و غربی، سبب افزایش میانگین بارندگی آن‌ها شده است.

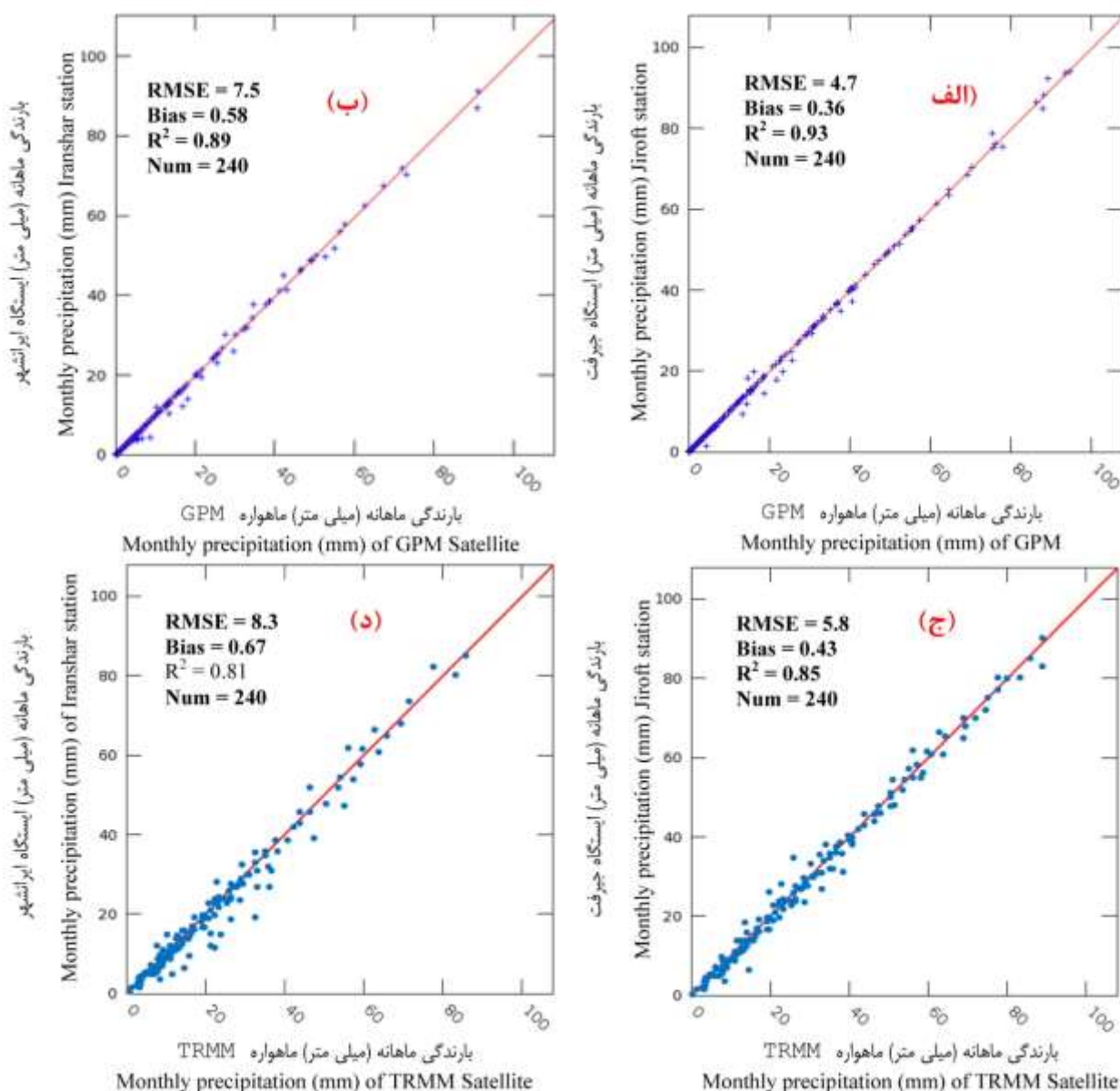
داده‌های مقادیر بارش دو ایستگاه هواشناسی سینوپتیک جیرفت و ایرانشهر و همچنین محصولات بارش ماهواره TRMM استفاده گردید. محصول بارش ماهواره‌ی TRMM محصول 3B42V7 با قدرت تفکیک مکانی $0/25 \times 0/25$ درجه و مقیاس زمانی آن همانند داده‌های GPM ماهانه (۲۰۱۹ - ۲۰۰۱) بوده است. در ابتدا مقادیر بارش مربوط به پیکسل‌هایی (۲ پیکسل و هر پیکسل با ابعاد تقریبی ۱۰ در ۱۰ کیلومتر مربوط به ماهواره‌ی GPM و با ابعاد تقریبی ۲۵ کیلومتر مربوط به ماهواره‌ی TRMM که دو ایستگاه سینوپتیک انتخابی بر روی آنها قرار می‌گرفتند برآورد شد. سپس با استفاده از شاخص‌های آماری اعتبارسنجی و همبستگی از قبیل میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، بایاس (BIAS) و ضریب تعیین (R^2) میان بارش برآورد شده توسط دو ماهواره‌ی GPM و TRMM و بارش مشاهداتی دو ایستگاه سینوپتیک انتخابی، بهترین مدل برآوردی ماهواره‌ای از میان دو ماهواره‌ی GPM و TRMM انتخاب گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در حالت کلی مقادیر بارش هر دو ماهواره‌ی مورد استفاده از دقت مناسبی در سطح حوضه‌ی آبریز جازموریان برخوردار هستند و مقدار خطای بارش برآوردی برای هر دو ایستگاه قابل چشم‌پوشی است. مقایسه دقت ماهواره‌های GPM و TRMM در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای نشان داد که هر چند شباهت زیادی بین مقادیر بارش برآوردی GPM و TRMM وجود دارد، ولی دقت داده‌های ماهواره‌ی GPM در سطح حوضه‌ی آبریز جازموریان نسبت به داده‌های TRMM بیش‌تر است. زیرا مقدار خطاهای برآوردی / ضریب تعیین برای داده‌های بارش GPM نسبت به داده‌های بارش TRMM کم‌تر / بیش‌تر است (شکل ۲ و جدول ۱). از نظر مکانی نیز، دقت داده‌های سنجش‌ازدوری GPM و TRMM در ایستگاه هواشناسی جیرفت بهتر از ایستگاه هواشناسی ایرانشهر مشاهده گردید (جدول ۱). بر همین اساس، به علت دقت بالاتر ماهواره‌ی GPM نسبت به ماهواره‌ی TRMM از یک جهت و از جهتی دیگر به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله، به نتایج حاصل از برآورد بارش توسط ماهواره‌ی GPM بسنده شد. یافته‌ها نشان داد متوسط بارش سالانه‌ی برآورد شده

جدول ۱- شاخص‌های آماری مورد استفاده در ارزیابی و مقایسه‌ی میان محصولات بارش ماهواره‌های GPM و TRMM با داده‌های بارش

مشاهداتی در حوضه‌ی آبریز جازموریان (۲۰۱۹ - ۲۰۰۱)

Table 1- Statistical indices used in evaluating and comparing the precipitation products of GPM and TRMM satellites with the observed precipitation data in Jazmourian catchment 2001-2019

محصولات Products	مقیاس زمانی Time scale	ایستگاه Station	RMS	BIAS	R ²	تعداد ماه Number of month
GPM	ماهانه (monthly)	جیرفت (Jiroft)	4.7	0.36	0.93	240
		ایرانشهر (Iranshar)	7.5	0.56	0.89	240
TRMM	ماهانه (monthly)	جیرفت (Jiroft)	5.8	0.43	0.85	240
		ایرانشهر (Iranshar)	8.3	0.67	0.81	240



شکل ۲- نمودار پراکنندگی (اعتبارسنجی) میان بارش ماهانه‌ی ماهواره‌های GPM و TRMM با بارش ایستگاه‌های هواشناسی؛ (الف و ج): ایستگاه هواشناسی جیرفت و (ب و د): ایستگاه‌های هواشناسی؛ (الف و ج): ایستگاه

Figure 2- Scatter diagram (validation) between the monthly precipitation of GPM and TRMM satellites with the precipitation of meteorological stations; (A and C): Jiroft Meteorological Station and (B and D): Iranshar during 2001-2019

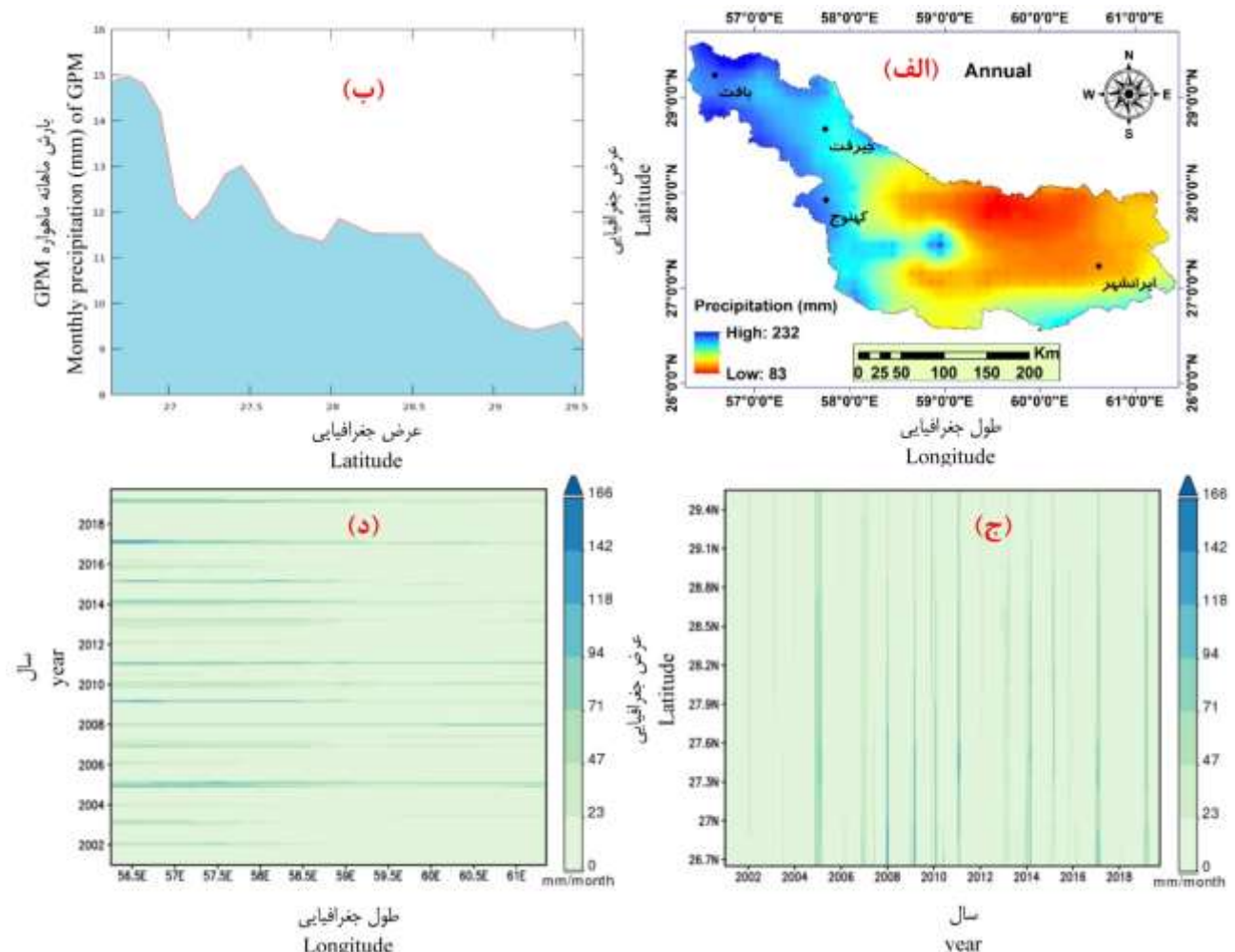
بالاتری را نسبت به نواحی همجوار در مرکز و شرق حوضه نشان داده‌است که علت اصلی آن به تأثیرپذیری بیش‌تر این ناحیه از سامانه‌ی تابستانه‌ی مونسون برمی‌گردد. از جهتی دیگر کم‌ترین مقدار بارش در بخش‌های مرکزی و شرقی حوضه اتفاق می‌افتد که میانگین آن تا ۸۳ میلی‌متر نیز کاهش می‌یابد. نمودارهای مربوط به برآورد سالانه‌ی بارش برای دو حالت "عرض جغرافیایی و زمان" (شکل ۳-ج) و همچنین "طول جغرافیایی و زمان" (شکل ۳-د) طی سال‌های ۲۰۱ تا ۲۰۱۹ ترسیم شده‌است. ترسیم نمودارهای مذکور در راستای

نکته‌ی قابل توجه، وجود یک محدوده‌ی بارشی بالا و مجزا در مرکز حوضه است که علت آن را می‌توان به موقعیت منحصر به فرد این منطقه که از یک سو به دلیل نزدیکی به ارتفاعات بشاگرد و اثرپذیری از بارندگی‌های همرفتی این کوه‌ها و از سوی دیگر، بهره‌گیری از بارندگی‌های تابستانه‌ی مونسون (جریان‌ات مرطوب اقیانوس هند) نسبت داد که در همین راستا در پژوهش (Habibi, 2000)، به خوبی به این موارد اشاره شده‌است. همچنین در منتهی‌الیه جنوب حوضه (جنوب‌غرب ایران‌شهر) میانگین بارش سالانه مقدار نسبتاً

مختلف مقدار بارش در راستای عرض جغرافیایی متغیر بوده است. همچنین، در بررسی ارتباط میان بارش و طول جغرافیایی، بیشینه‌ی بارش در طول‌های جغرافیایی غربی بوده که با حرکت به سمت مرکز حوضه از مقادیر آن کاسته شده و مجدداً در طول‌های جغرافیایی شرقی بر مقدار آن افزوده می‌شود.

نمودار سری زمانی بارش ۲۲۸ ماهه پیاپی (از ژانویه ۲۰۰۱ تا دسامبر ۲۰۱۹) در حوضه‌ی آبریز جازموریان در شکل ۴ آمده است. براساس نمودار مربوطه؛ از سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۴ مقدار بارش ماهانه در هیچ یک از ماه‌ها از ۳۰ میلی‌متر بالاتر نرفته و بیان‌گر حاکمیت شرایط کاملاً خشک بر حوضه بوده است. در سال ۲۰۰۵ شرایط بارشی حوضه با رشد خوبی نسبت به قبل برخوردار شده است به طوری که مقدار بارش آن در برخی از ماه‌ها تا ۸۰ میلی‌متر نیز رسیده است.

طول و عرض جغرافیایی با استفاده از پروفیل‌های هوف‌مولر صورت گرفته است تا به آشکارسازی تفاوت‌های موجود کمک نماید. پروفیل‌های هوف‌مولر نیمرخ‌های عمودی و افقی محسوب می‌شوند که برای ارزیابی یا تشخیص رفتار یک متغیر جوی، در راستای طول و عرض جغرافیایی در طی زمان به کار می‌روند. در این نمودارها، ابعاد چهارگانه ژئوفیزیکی شامل؛ طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، تراز و زمان دو به دو به صورت متناظر با هم متغیر یا ثابت هستند (Hovmöller, 1949). نمودارهای حاصله بیانگر افت‌وخیزهای چشم‌گیری در مقدار بارش حوضه‌ی آبریز جازموریان در طول دوره‌ی آماری است که حاکی از نوسان زیاد بارش در حوضه‌ی مذکور می‌باشد. در همین راستا، بررسی ارتباط میان عرض جغرافیایی و بارش، بیان‌گر رخداد بیشینه‌ی بارش ماهانه در عرض‌های جغرافیایی جنوبی‌تر حوضه‌ی مذکور می‌باشد؛ هر چند که در طی سال‌های



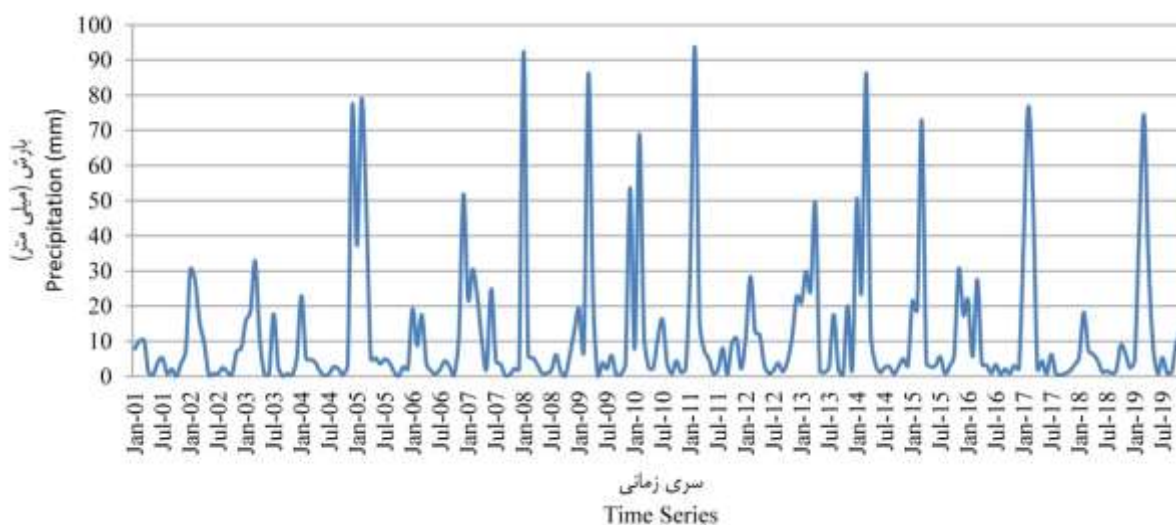
شکل ۳- توزیع بلندمدت بارش (الف)؛ توزیع مداری بارش (ب)؛ توزیع بارش سالانه در راستای عرض جغرافیایی (ج) و طول جغرافیایی (د)
 Figure 3- Long-term distribution of precipitation (a); Orbital distribution of precipitation (b); Annual rainfall distribution in terms of longitude (c) and latitude (d)

آماري مورد مطالعه بارشي كمتر از ميانگين و ۸ سال بارشي بيش از ميانگين دريافت نموده؛ به طوري كه در برخي از سالها (۲۰۰۱)، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸) افت قابل ملاحظه‌اي يافته است. در حالي كه سالهاي ۲۰۱۹ با ۲۳۹ ميلي متر و ۲۰۰۹ با ۲۰۷ ميلي متر، شرايط بارشي خوبي را تجربه کرده است (شکل ۵). كم بودن ميانگين بارش سالانه (۱۴۴ ميلي متر) و نوسان پذيري زياد آن در سالهاي مورد مطالعه به خوبي حاكميت شرايط خشك را بر حوضه‌ي آبريز جازموريان نشان مي‌دهد. اين شرايط مي‌تواند وضعيت شكنده‌اي را براي منابع آبي و اكوسيستم‌هاي واقع در اين حوضه به دنبال داشته باشد.

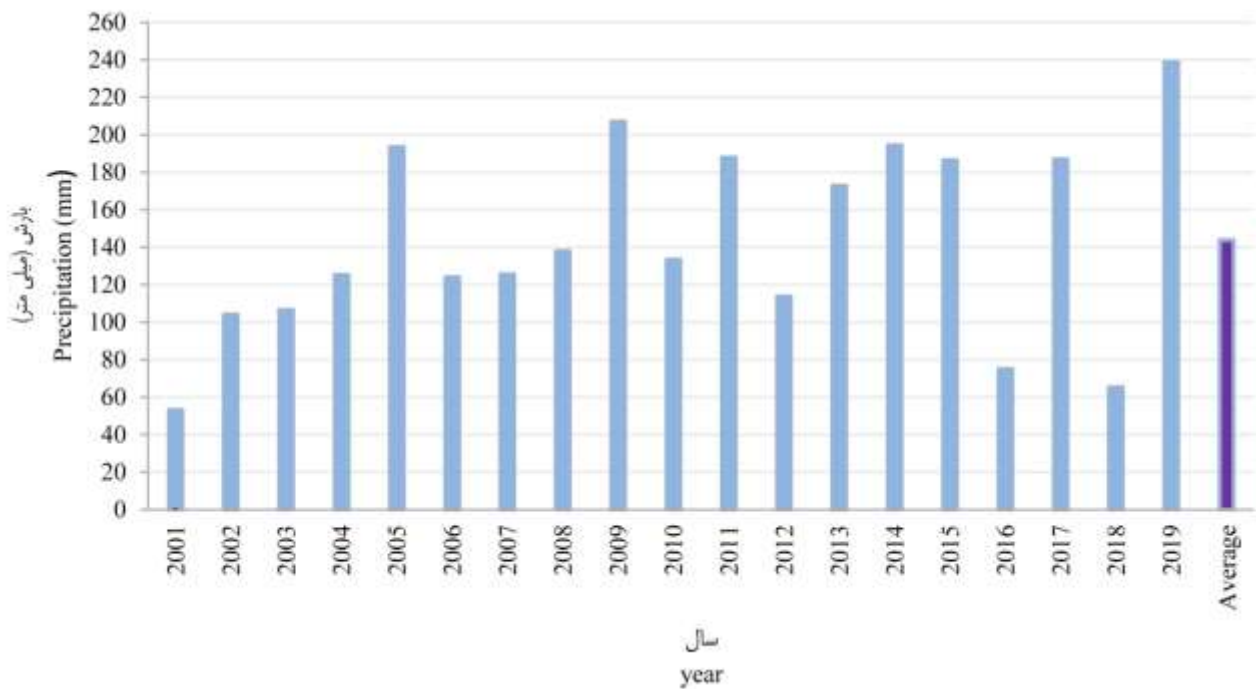
توزيع فصلي

توزيع فضايي و ميانگين بارش فصول مختلف سال در حوضه‌ي آبريز جازموريان در شکل‌هاي ۶ و ۷ آمده است. همان طوري كه در اين شكل مشخص است، ميانگين بارندگي فصل زمستان (دسامبر، ژانويه و فوريه) حوضه در دامنه‌اي از ۱۱۸-۴۱ ميلي متر متغير است. بيشينه‌ي بارش در بخش‌هاي شمالي و غربي حوضه و كمينه‌ي آن نيز در مناطق مركزي و شرقي حوضه رخ داده است.

اما اين روند تداوم نداشته و در سال ۲۰۰۶ مجدداً اين حوضه با كمبارشي مواجه گرديده به طوري كه مقدار بارش در هيچ ماهي از ۲۰ ميلي متر فراتر نرفته است. از سالهاي ۲۰۰۷-۲۰۱۱ تغييرات بارشي در حوضه‌ي آبريز جازموريان روندی افزايشی در پيش گرفته و در برخي از اين سالها (۲۰۰۸ و ۲۰۱۱) مقدار بارندگي ماهانه گاهي تا ۹۰ ميلي متر هم رسیده است. در سال ۲۰۱۲ بار ديگر بارش حوضه با کاهش مواجه گرديده و مقدار بارش ماهانه در هيچ يك از ماههاي سال از ۳۰ ميلي متر فراتر نرفته است. در سال ۲۰۱۳ بارش در اين حوضه افزايش يافته و تا سال ۲۰۱۴ نيز تداوم داشته است. در سال ۲۰۱۵ مجدداً مقدار بارش حوضه رو به کاهش نهاده و اين شرايط تا انتهاي سال ۲۰۱۶ حاكم بوده است. در سه سال انتهاي دوره‌ي مورد مطالعه (۲۰۱۷-۲۰۱۹) وضعيت بارش از افت و خيزهائي برخوردار بوده؛ به طوري كه در ماههاي مربوط به سال ۲۰۱۹ از شرايط بارشي نسبتاً خوبي برخوردار بوده است. به طور كلي سري زماني بارش در حوضه‌ي آبريز جازموريان داراي رفتار متفاوتي بوده است. با اين وجود؛ در سطح اطمينان ۹۵٪ روند خطي (افزايشي - كاهش‌ي) در سري زماني آن مشاهده نشده است. ميانگين بارش سالانه در حوضه‌ي مورد مطالعه ۱۴۴ ميلي متر بوده است كه حدود ۱۱ سال از دوره‌ي



شکل ۴- سري زماني بارش ماهانه‌ي برآورد شده از داده‌هاي ماهواره‌ي GPM در حوضه‌ي آبريز جازموريان طی سالهاي ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹
Figure 4- Time series of monthly precipitation estimated from GPM satellite data in Jazmouriyan catchment from 2001 to 2019

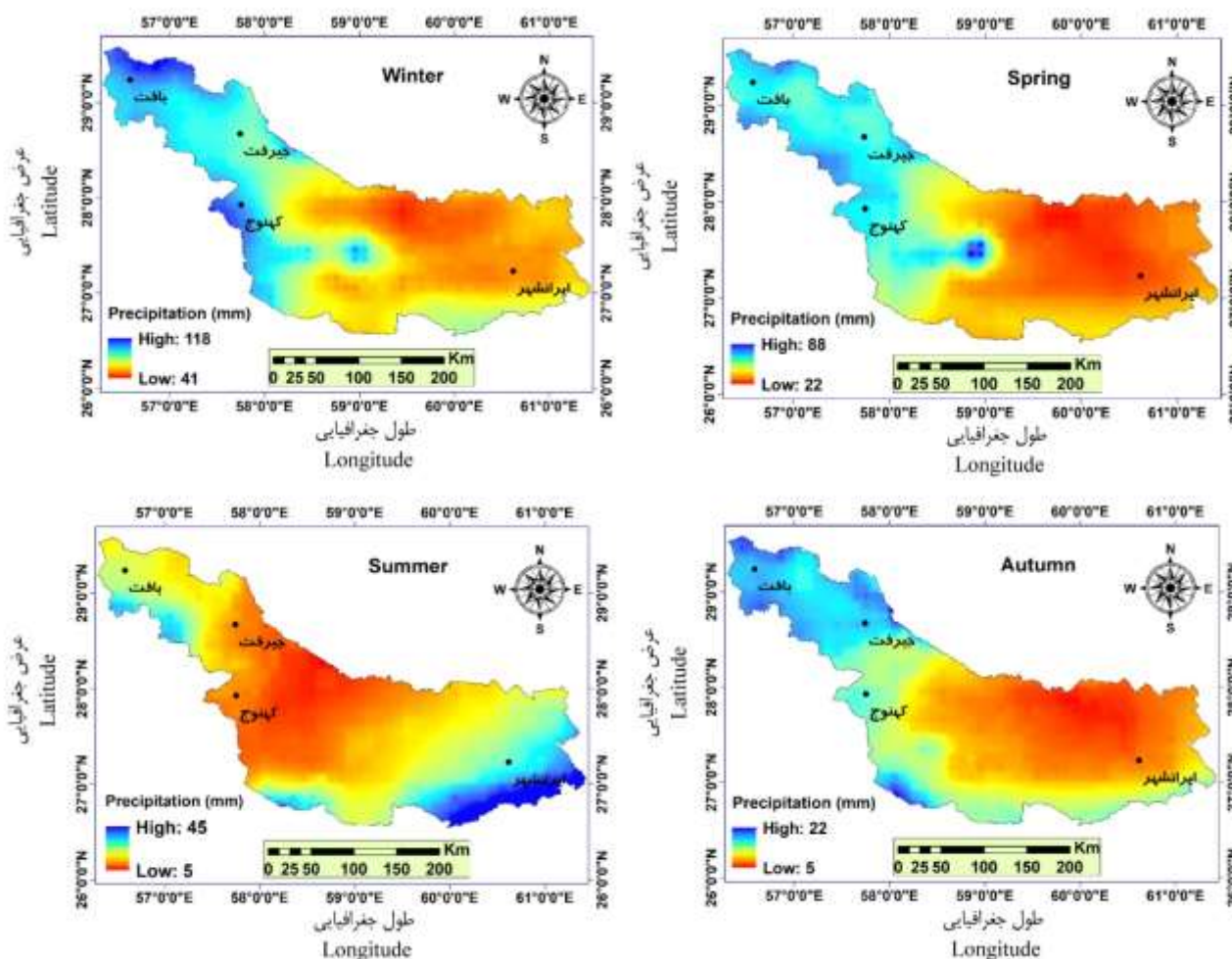


شکل ۵- مقدار بارش سالانه در حوضه‌ی آبریز جازموریان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹
Figure 5- The amount of annual rainfall in Jazmourian catchment from 2001 to 2019

شدت و گستره‌ی بارش مواجه شده است. علت اصلی کاهش بارش در این فصل را می‌توان به عقب نشینی الگوهای باران‌آور غربی نسبت داد که در این فصل از شدت فعالیت آن‌ها کاسته شده است. علاوه بر این؛ حاکمیت تدریجی سامانه‌ی پرفشار جنب حاره در این حوضه با جلوگیری از ورود سامانه‌های بارشی به این منطقه منجر به ایجاد جوی پایدار و خشک می‌گردد. با ورود به فصل تابستان (ژوئن، ژوئیه و آگوست) مقادیر بارش با کاهش چشم‌گیری روبرو شده است. بیشینه‌ی بارش در این فصل ۴۵ میلی‌متر و کمینه‌ی آن نیز ۵ میلی‌متر است. نکته‌ی جالب توجه در این فصل جابجایی مکانی بیشینه‌های بارشی است؛ به طوری که بیشینه‌ی بارش در جنوب‌شرق حوضه قرار گرفته و در مقابل آن از شدت بارندگی فصول زمستان و بهار در بخش‌های شمالی حوضه به طور قابل توجهی کاسته شده است. علت اصلی بروز بیشینه‌ی بارش فصل تابستان در بخش‌های جنوب شرقی حوضه را می‌توان با جریانات مرطوب مونسون مرتبط دانست که با نفوذ از جنوب‌شرق کشور، شرایط را برای وقوع بارش بیشینه در این ناحیه فراهم می‌آورند. علاوه بر این؛ دو هسته‌ی بارشی دیگر نیز یکی در ارتفاعات شمال غربی و دیگری در ارتفاعات جنوب غربی حوضه (کوه‌های بشاگرد) مشاهده می‌شود. علت وجود این هسته‌های بارشی را می‌توان به اثرگذاری کوه‌ها در صعود هوای گرم و مرطوب و بارندگی همرفتی ناشی از آن نسبت داد که در فصل تابستان به طور معمول در این نواحی رخ می‌دهد.

در مورد علت توزیع فضایی بیشینه‌ی بارش در مناطق مذکور می‌توان به دو عامل یکی عوامل داخلی مانند ناهمواری‌ها و عرض جغرافیایی و دیگری نیز عوامل بیرونی یعنی اثرپذیری از الگوهای گردش جو اشاره کرد. به عبارت دیگر در نواحی مذکور از یک سو وجود کوه‌های مرتفع به خصوص در شمال حوضه به سبب صعود اجباری توده‌های هوایی، افزایش بارش را به دنبال دارد و از سوی دیگر نیز قرارگیری در عرض‌های شمالی‌تر و غربی‌تر سبب بهره‌مندی بیش‌تر از الگوهای جوی وارد شده به کشور می‌شود.

برای مثال شهر کهنوج با وجود قرارگیری در عرض جغرافیایی پایین‌تر نسبت به شهر جیرفت اما از یک سو به دلیل قرارگیری در موقعیتی غربی‌تر و متعاقب آن دارا بودن شانس بیش‌تری در بهره‌مندی از بارش توده‌های باران‌زای غربی و از سوی دیگر به سبب دسترسی بهتر از رطوبت خلیج فارس و دریای عمان، بارندگی بیش‌تری را از آن خود می‌نماید. همچنین مناطق شرقی حوضه در این فصل شانس کم‌تری در برخورداری از سامانه‌های بارشی ورودی را دارند؛ به طوری که میانگین بارش در این بخش از حوضه تا حدود ۴۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد. توزیع فضایی مربوط به بارش فصل بهار (مارس، آوریل و می) حاکی از تفاوت‌های معنادار در بخش‌های مختلف این حوضه می‌باشد؛ به طوری که بیشینه‌ی بارش به ۸۸ میلی‌متر و کمینه‌ی آن به ۲۲ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۶). توزیع فضایی بارش در فصل بهار الگویی شبیه فصل زمستان را نشان می‌دهد؛ با این تفاوت که این فصل نسبت به زمستان با کاهش در



شکل ۶- توزیع فضایی بارش فصلی در حوضه آبریز جازموریان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹
Figure 6- Spatial distribution of seasonal rainfall in Jazmourian catchment from 2001 to 2019

از بالابری کوهساری (اوروگرافیک) مؤثر دانست. علاوه بر این؛ در کمربند باریک جنوبی حوضه و به خصوص در جنوب غرب حوضه (کوه‌های بشاگرد) نیز در فصل پاییز بیشینه‌های بارشی مشاهده می‌شود که علت اصلی آن را می‌توان به بارش همرفتی ناشی از صعود هوای گرم و مرطوب سواحل جنوبی در برخورد با کوه‌های نسبتاً بلند این بخش از حوضه نسبت داد؛ چرا که در این فصل از سال توده‌های باران‌زای دوره سرد سال به ندرت مجال نفوذ به این منطقه را پیدا می‌کنند.

جهت بررسی رفتار فصلی بارش در طی سال‌های مورد مطالعه، نمودار سری زمانی فصلی در شکل ۷ ترسیم شده است. براساس این شکل در میان فصول چهارگانه، زمستان سال ۲۰۰۵ با میانگین بارش ۱۹۳ میلی‌متر دارای بیش‌ترین بارندگی فصلی در طول دوره مورد مطالعه بوده و کم‌ترین بارش این فصل نیز در سال ۲۰۱۸ به مقدار

همچنین، کم‌ترین مقدار بارش در این فصل در بخش مرکزی حوضه رخ داده است که با توجه به حاکمیت غالب هوای گرم و خشک متأثر از سامانه‌ی جنب حاره‌ی و همچنین ارتفاع کم این بخش از حوضه قابل توجیه می‌باشد. توزیع فضایی بارش فصل پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) نیز در شکل ۶ آمده است.

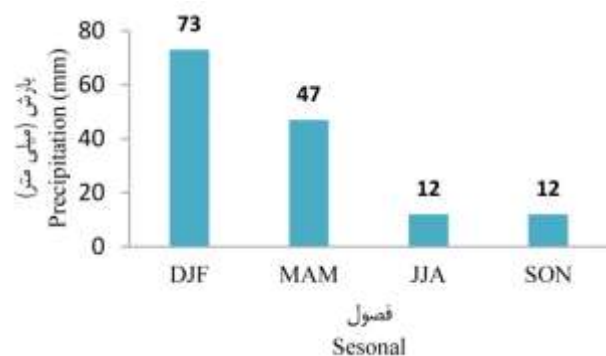
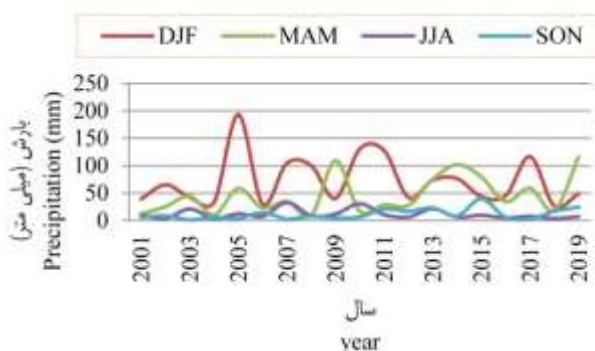
براساس این شکل مقادیر بارش این فصل با بیشینه‌ی ۲۲ میلی‌متر و کمینه‌ی ۵ میلی‌متر به عنوان خشک‌ترین فصل سال در حوضه‌ی آبریز جازموریان مشخص شده است. در این فصل بیشینه‌ی فضایی بارش همانند فصول زمستان و بهار در بخش‌های شمالی حوضه قرار دارد. زیرا در این فصل ورود تدریجی سامانه‌های باران‌زای دوره سرد سال (بادهای غربی) در ابتدا این بخش از حوضه را تحت سیطره‌ی بارش‌های خود قرار می‌دهند. همچنین، اثر کوه‌های مرتفع این بخش از حوضه را نیز می‌توان در رخداد بارش‌های همرفتی ناشی

در ماه فوریه با بیشینه‌ی ۶۵ میلی‌متر و کمینه‌ی ۱۹ میلی‌متر، افزایش قابل توجهی به ویژه در بیشینه‌ی بارش ملاحظه می‌شود. توزیع فضایی بارش در این ماه با گستردگی چشم‌گیری تا مرکز منطقه‌ی مورد مطالعه پیشروی کرده است که علت آن گسترش بیش‌تر بادهای غربی در انتقال رطوبت سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی به این منطقه می‌باشد. حاکمیت چنین شرایطی باعث گردیده تا ماه فوریه از بیش‌ترین مقدار بارش در میان سایر ماه‌ها برخوردار باشد. ماه مارس با دامنه‌ی بارشی ۶۴-۱۶ میلی‌متر، همچنان به دلیل تداوم اثرگذاری الگوهای زمستانه، به عنوان دومین ماه پربارش در این حوضه می‌باشد. در این ماه، تمرکز فضایی بیشینه‌ی بارش در نیمه‌ی غربی حوضه می‌باشد. در حالی که شمال حوضه با وجود عرض جغرافیایی بالاتر و ارتفاع بیش‌تر، بارش کم‌تری را نسبت به بخش غربی حوضه نشان می‌دهد. در توجیه این وضعیت می‌توان گفت که بخش‌های غربی حوضه به دلیل موقعیت خاص مکانی، هم از بارش‌های سامانه‌های غربی و هم سامانه‌های جنوبی متأثر شده و در نتیجه امکان بیش‌تری برای دریافت بارش دارند. در ماه آوریل، کاهش چشم‌گیر مقادیر بارندگی و همچنین جابجایی کامل بیشینه‌های بارشی به نیمه‌ی شمالی حوضه، بیان‌گر کاهش نفوذ سامانه‌های غربی به عرض‌های جنوبی‌تر و شرقی‌تر می‌باشد. در این ماه، بیشینه‌ی بارش ۲۷ میلی‌متر و کمینه‌ی آن نیز به ۴ میلی‌متر رسیده است. در ماه می با عقب نشینی کامل الگوهای باران‌زای غربی، هسته‌های بارشی مرتبط با این عامل نیز در شمال حوضه تضعیف شده‌اند؛ به طوری که بیشینه‌ی بارش این ماه به ۸ میلی‌متر و کمینه‌ی آن نیز به ۱ میلی‌متر کاهش یافته است. با این وجود؛ هسته‌های بارشی در می نسبت به آوریل، به لحاظ فضایی تغییرات فاحشی را نشان می‌دهند؛ به طوری که هسته‌های مذکور در این ماه تنها در شمال شرق (کوه‌های جبال بارز) و جنوب شرق (کوه‌های مکران) حوضه واقع شده است.

۲۷ میلی‌متر رخ داده است. بعد از زمستان، فصل بهار به عنوان دومین فصل بارشی این حوضه می‌باشد که بیشینه‌ی بارش آن در دوره‌ی آماری مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ به مقدار ۱۱۶ میلی‌متر و کمینه‌ی آن نیز در سال ۲۰۰۸ به مقدار ۹ میلی‌متر بوده است. پاییز با بیشینه‌ی بارشی ۳۹ میلی‌متر در سال ۲۰۱۵ و کمینه‌ی ۱ میلی‌متر در سال ۲۰۰۳ به عنوان سومین فصل بارشی حوضه‌ی آبریز جازموریان می‌باشد. سرانجام فصل تابستان با بیشینه‌ی بارش ۳۰ میلی‌متر در سال ۲۰۰۷ و کمینه‌ی ۴ میلی‌متر در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۸ به عنوان کم‌بارش‌ترین فصل این حوضه مشخص شده است. به طور کلی، میانگین بارش فصلی طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه (۲۰۱۹-۲۰۰۱) برای فصل زمستان (DJF) ۷۳ میلی‌متر، بهار (MAM) ۴۷ میلی‌متر، تابستان (JJA) و پاییز (SON) نیز ۱۲ میلی‌متر برآورد شده است (شکل ۷).

توزیع ماهانه

شکل‌های ۸ و ۹ توزیع فضایی بارندگی ماهانه را در حوضه‌ی آبریز جازموریان نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۸، بارندگی ماه ژانویه در این حوضه در دامنه‌ای از ۴۱-۱۴ میلی‌متر گسترده شده و هسته‌های بیشینه‌ی بارش در سه منطقه‌ی شمال، غرب و ناحیه‌ی بسیار کوچکی در جنوب حوضه قرار دارد. دو هسته‌ی بارشی شمالی و غربی به دلیل موقعیت جغرافیایی آن‌هاست؛ زیرا قرارگیری این بخش از حوضه در عرض‌های بالاتر، امکان بهره‌مندی بیش‌تر از الگوهای بارش زمستانه را فراهم می‌آورد. در صورتی که مناطق شرقی‌تر به دلیل واقع شدن در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر و همچنین ارتفاع کم آن‌ها نسبت به سطح دریا، امکان چندان‌ی در بهره‌گیری از توده‌های باران‌زای غربی ندارند. در مورد هسته‌ی بارشی جنوب حوضه نیز می‌توان به نقش ارتفاعات این منطقه در شکل‌گیری سازوکار بارش ناشی از رطوبت برخوردی از کرانه‌ی ساحلی جنوب اشاره نمود.



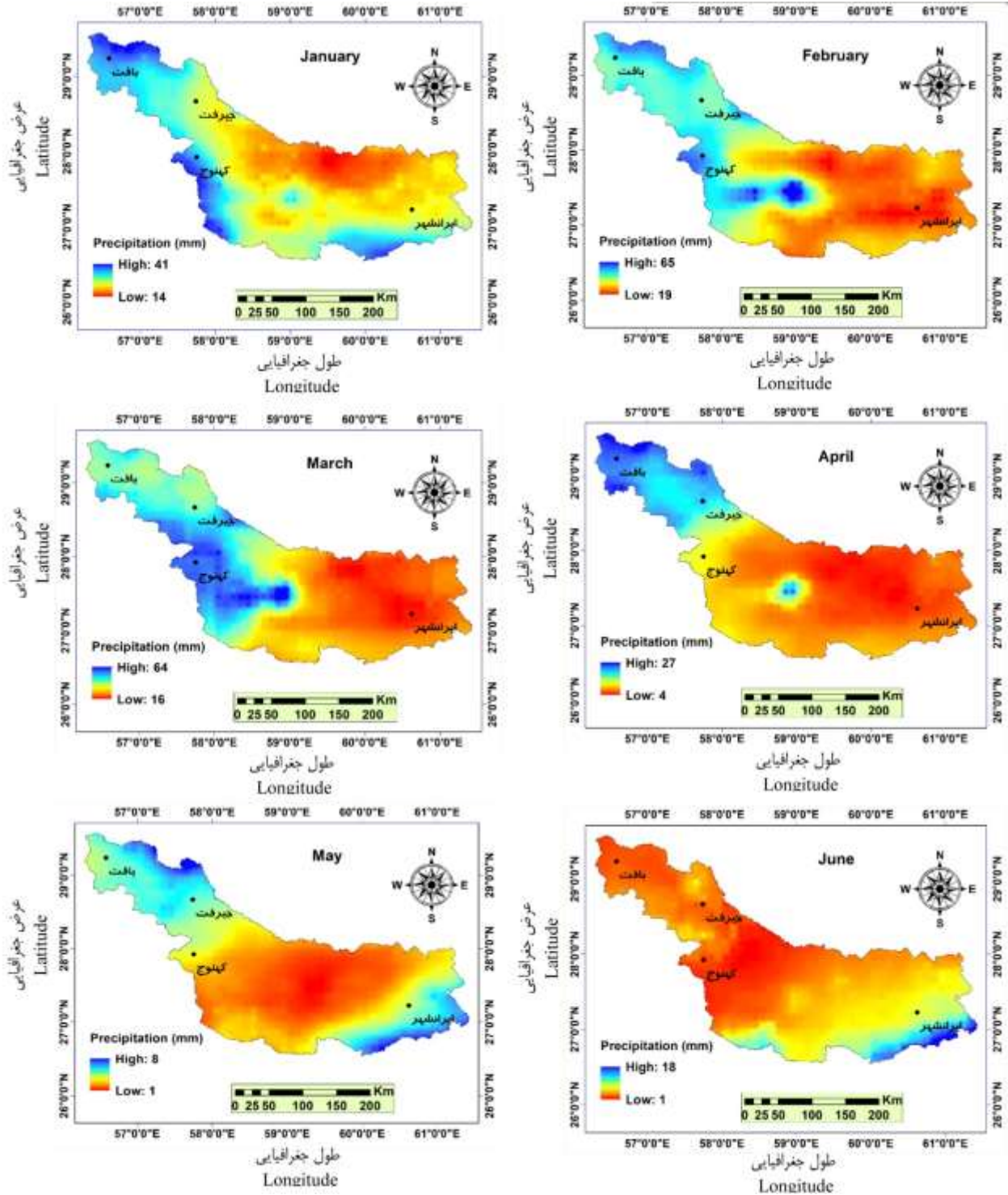
شکل ۷- سری زمانی و میانگین بارش فصلی در حوضه‌ی آبریز جازموریان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹
Figure 7- Time series and average seasonal rainfall in Jazmouriyan catchment from 2001 to 2019

علت اصلی این توزیع فضایی به وقوع بارش‌های همرفتی متأثر از نواحی مرتفع برمی‌گردد که گرمایش تدریجی سطح زمین منجر به صعود هوای نسبتاً مرطوب و رخداد بارندگی می‌شود. در ماه ژوئن با تقویت حاکمیت پرفشار جنب حاره و به دنبال آن عدم مهیایی شرایط مساعد برای صعود هوا، مقدار بارندگی بسیار کاهش یافته است. به طوری که بر اساس نقشه‌ی بارش مربوط به این ماه، شرایط کم‌بارشی در کل حوضه حاکم بوده است. با این وجود؛ بر مقادیر بیشینه‌ی بارندگی در ژوئن افزوده شده و به ۱۸ میلی‌متر رسیده است. با توجه به موقعیت مکانی هسته‌ی بیشینه‌ی بارش در جنوب‌شرق حوضه، علت اصلی آن را می‌توان از یک سو عامل بارندگی همرفتی و از سوی دیگر نفوذ مقطعی جریان‌ات مرطوب مونسون در این ماه قلمداد کرد.

در ماه جولای مقادیر بارندگی با بیشینه‌ی ۱۸ میلی‌متر و کمینه‌ی ۲ میلی‌متر تقریباً مشابه ژوئن بوده و تغییرات خاصی را نشان نمی‌دهد. اما به لحاظ فضایی دو تغییر عمده در هسته‌ی بارش‌ها رخ داده است؛ تغییر اول مربوط به گسترش هسته‌ی بیشینه‌ی بارندگی در جنوب شرق حوضه است که با تقویت و نفوذ جریان‌ات مونسون در این ماه، مناطق بیش‌تری از ناحیه‌ی مذکور را از بارش متأثر می‌نماید. تغییر برجسته‌ی دیگر در رخداد بارندگی این ماه، شکل‌گیری یک هسته‌ی بارشی جدید در شمال‌غرب حوضه است که علت آن را می‌توان به نقش ارتفاعات این ناحیه در صعود هوای گرم و مرطوب و وقوع بارش‌های موردی رگباری مرتبط دانست. در ماه آگوست مقادیر بیشینه‌ی بارندگی با ۱۱ میلی‌متر، نسبت به جولای کاهش یافته، در حالی که مقادیر کمینه‌ی بارش تغییر خاصی نداشته است. با این وجود؛ با تداوم گسترش جریان‌ات مرطوب مونسون، تقریباً کل گستره‌ی جنوب‌شرق حوضه از بارش‌های مربوط به این سامانه برخوردار شده و به دنبال آن بیشینه‌ی بارش نیز در همین ناحیه اتفاق می‌افتد. نکته‌ی قابل توجه دیگر در مورد بارش این ماه، تقویت هسته‌ی بارشی واقع در جنوب‌غرب حوضه (کوه‌های بشاگرد) نسبت به ماه جولای می‌باشد. در ماه سپتامبر بارندگی در حوضه‌ی آبریز جازموریان با مقادیر ۵-۱ میلی‌متر، کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده و این ماه را به خشک‌ترین ماه در طول سال تبدیل نموده است. در این ماه به دلیل عقب نشینی جریان‌ات مونسون و عدم اثرگذاری آن بر جنوب شرق حوضه، مقدار بارندگی به طور قابل توجهی کاهش یافته است. در حالی که در نیمه‌ی شمالی حوضه، گسترش بارندگی از ارتفاعات شمال‌غربی، بیان‌گر اثرگذاری تدریجی توده‌های غربی می‌باشد. مقادیر بارندگی در ماه اکتبر همانند سپتامبر بوده و تغییر خاصی را نشان نمی‌دهد. اما توزیع فضایی بارندگی در این ماه، به عنوان یکی از متنوع‌ترین ماه‌های سال می‌باشد؛ از آن جهت که در ماه مذکور تعدد

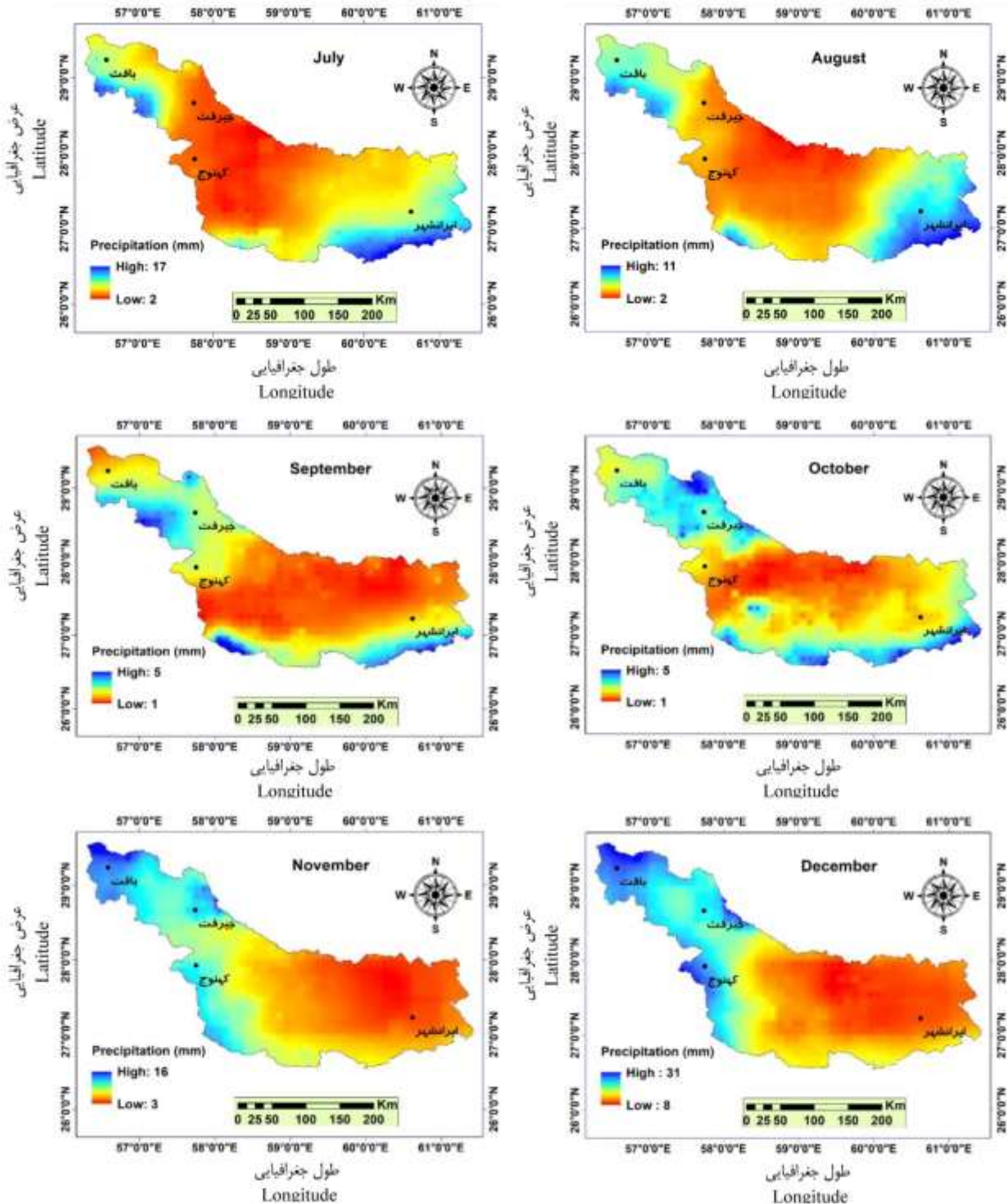
بیش‌تری از هسته‌های بارشی در غالب نقاط حوضه به چشم می‌خورد. به طور کلی در ماه اکتبر، غرب و شرق حوضه در مقایسه با سایر نواحی از احتمال کم‌تری برای بهره‌مندی از بارندگی برخوردار هستند. در حالی که در بخش‌های شمالی و جنوبی حوضه به دلیل وجود ارتفاعات بلند و همچنین شرایط حرارتی مناسب در سطح زمین، امکان رخداد بارندگی مهیاتر است. در این ماه به دلیل قرار داشتن در ابتدای فصل گذر و متعاقب آن عدم ثبات الگوهای گردش‌ی جو و سامانه‌های بارشی، تغییرات فضایی متنوعی نیز در مقادیر بارشی روی می‌دهد. مقدار بارندگی حوضه‌ی آبریز جازموریان در ماه نوامبر با بیشینه‌ی ۱۶ میلی‌متر و کمینه‌ی ۳ میلی‌متر نسبت به اکتبر با افزایش مواجه بوده است. به لحاظ توزیع فضایی بارندگی نیز تغییرات بارزی در این ماه مشاهده می‌شود؛ به طوری که هسته‌های بیشینه‌ی بارندگی به نیمه‌ی غربی و شمالی حوضه کشیده شده است. در تفسیر توزیع فضایی بیشینه‌ی بارندگی در این ماه می‌توان گفت؛ به علت حاکمیت غالب الگوهای پاییزی و به دنبال آن نفوذ تدریجی سامانه‌های بارشی به عرض‌های شمالی‌تر و غربی‌تر حوضه، هسته‌های بارش بیش‌تر نیز در این نواحی شکل گرفته است. در حالی که در بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی حوضه به دلیل خنکی تدریجی هوا و متعاقب آن کاهش اثرگذاری گرمایش سطح زمین در بارندگی‌های همرفتی، مقدار بارش نیز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. همچنین به دلیل واقع نشدن بخش‌های مذکور در مسیر سامانه‌های غربی، شانس چندانی جهت برخورداری از بارش ندارند. به طور کلی، بیشینه‌ی بارندگی ماه نوامبر در شمال و شمال‌شرق حوضه قرار دارد. ماه دسامبر به عنوان آخرین ماه فصل پاییز، همانند نوامبر با افزایش بارش مواجه شده است؛ به طوری که مقادیر بیشینه‌ی ۳۱ میلی‌متر و کمینه‌ی ۸ میلی‌متر، نمایان‌گر رشد قابل توجه بارندگی در ماه مذکور می‌باشد. به لحاظ توزیع فضایی بارش در ماه دسامبر، تنها تغییر برجسته در این ماه شکل‌گیری یک کمربند پیوسته‌ی بارشی در امتداد مرزهای غربی حوضه است که علت آن تأثیرگذاری بیش‌تر سامانه‌های بارش‌زای غربی در این بخش می‌باشد (شکل ۹).

جهت بررسی دقیق‌تر رفتار ماهانه‌ی بارش در حوضه‌ی مورد مطالعه، سری زمانی بارش تمام ماه‌ها در شکل ۱۰ ترسیم شده است. بر اساس مقادیر بارندگی مربوط به ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه (زمستان)، بیش‌ترین بارش ماهانه مربوط به فوریه ۲۰۱۱ (۹۴ میلی‌متر)، ژانویه ۲۰۰۹ (۹۲ میلی‌متر) و دسامبر ۲۰۰۴ (۷۷ میلی‌متر) و کم‌ترین رخداد بارش ماهانه مربوط به ژانویه ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ (۵ میلی‌متر)، دسامبر ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ (۲ میلی‌متر) و فوریه ۲۰۰۴ (۵ میلی‌متر) برآورد گردید.



شکل ۸- توزیع فضایی بارش ماهانه در حوضه‌ی آبریز جازموریان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹

Figure 8- Spatial distribution of monthly precipitation in Jazmourian catchment from 2001 to 2019



شکل ۸- توزیع فضایی بارش ماهانه در حوضه آبریز جازموریان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹

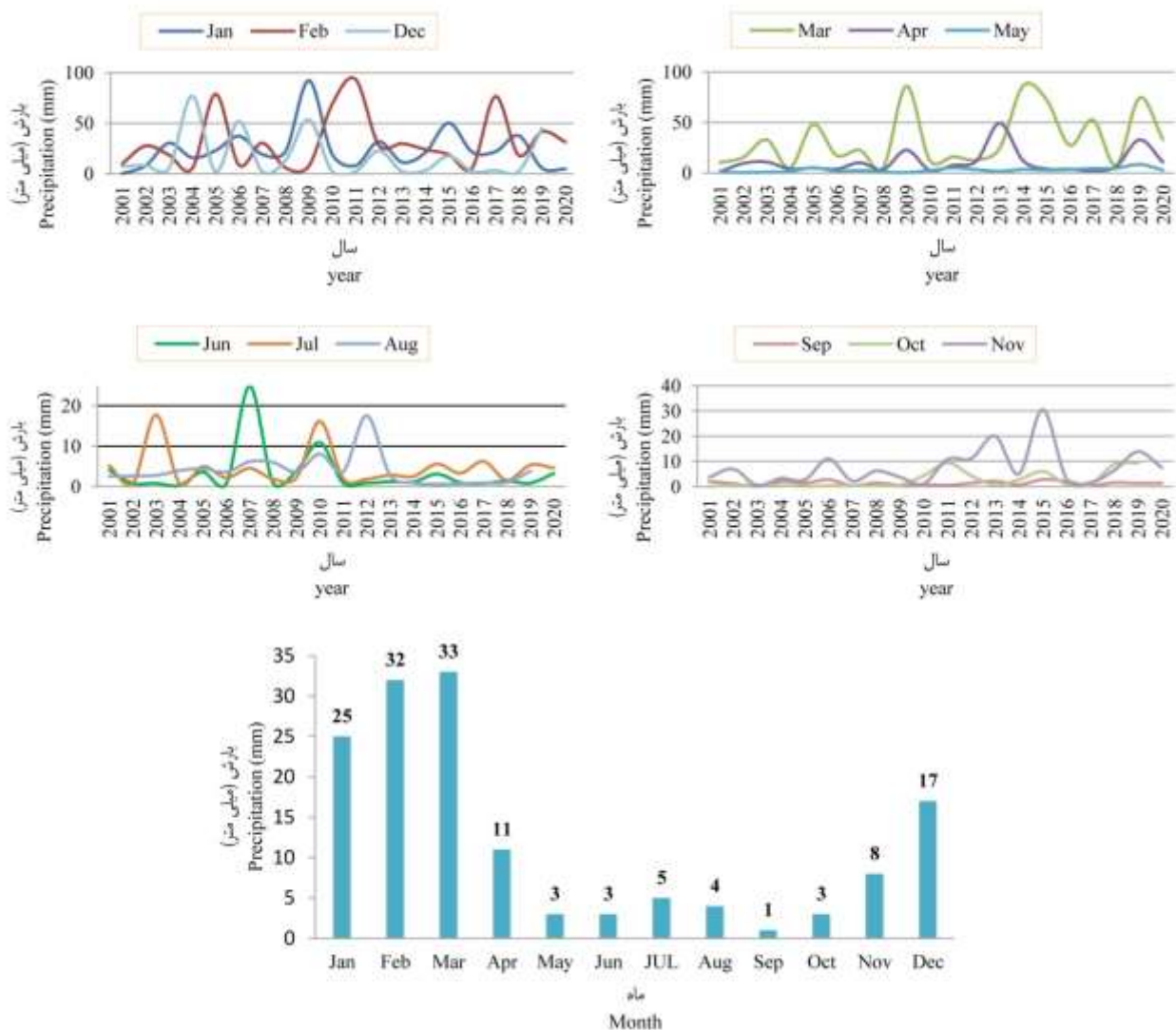
Figure 8- Spatial distribution of monthly precipitation in Jazmourian catchment from 2001 to 2019

آن مربوط به می ۲۰۰۲ (فاقد بارش)، آوریل ۲۰۰۱ (۱ میلی‌متر) و مارس ۲۰۰۸ (۵ میلی‌متر) بوده است. براساس سری زمانی، بارش در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست نسبت به ماه‌های قبل کاهش

همچنین براساس همین شکل، بیش‌ترین مقدار بارش ماه‌های مارس، آوریل و می مربوط به مارس ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ (۸۶ میلی‌متر)، آوریل ۲۰۱۳ (۴۹ میلی‌متر) و می ۲۰۰۸ (۸ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار

جولای بالاترین مقادیر بارش را در میان سه ماه مذکور به خود اختصاص داده است. علت رخداد این مقدار بارش در این موقع از سال، نفوذ جریان‌ات مرطوب موسمی به جنوب شرق ایران می‌باشد که در مسیر خود حوضه‌ی آبریز جازموریان را نیز متأثر از ریزش‌های خود می‌کند. علاوه بر این؛ بخشی از بارش‌های ماه‌های مذکور بر اثر رخداد بارش همرفتی متأثر از کوه‌های بلند در حوضه‌ی مذکور می‌باشد که با گرمایش سطح زمین و متعاقب آن صعود هوا، شرایط مساعدی برای رخداد بارش فراهم می‌شود. براساس شکل مربوط به سری زمانی بارش ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر، بارش در ماه‌های مذکور در مقایسه با ماه‌های قبل افزایش یافته است؛ به طوری که بیشینه‌ی آن در نوامبر ۲۰۱۵ به ۳۱ میلی‌متر رسیده است.

محسوسی را نشان می‌دهد؛ به طوری که بیشینه‌ی بارش در ماه‌های مذکور، ۲۵ میلی‌متر در ژوئن ۲۰۰۷ و همچنین ۱۸ میلی‌متر به ترتیب در جولای و آگوست سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۲ بوده است. علت بیشینه‌ی بارش در ژوئن سال ۲۰۰۷ مربوط به رخداد طوفان گونو می‌باشد که با نفوذ گسترده به بخش زیادی از این منطقه و بارش شدید، سبب ناهنجاری بارش در زمان مذکور شده است. با وجود این که مقدار بارش ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست چندان چشم‌گیر نیست اما با توجه به خشکی شدید هوا در غالب گستره‌ی ایران و متعاقب آن عدم رخداد بارش خاصی در این موقع از سال، ثبت این مقدار بارش در این حوضه در مقایسه با سایر نقاط کشور بارش قابل توجه می‌باشد. به طور کلی، صرف نظر از بارش سال ۲۰۰۷، ماه



شکل ۱۱- میانگین بارش ماهانه در حوضه‌ی آبریز جازموریان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹
Figure 11- Average monthly rainfall in Jazmourian catchment from 2001 to 2019

برجسته‌ترین نکته در مورد سری زمانی بارش در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر تفاوت چشم‌گیر بارش ماه نوامبر نسبت به دو ماه دیگر است. علت اصلی این تفاوت را می‌توان به نفوذ بیش‌تر توده‌های باران‌زای غربی در افزایش بارش این ماه نسبت داد. در حالی که ماه‌های سپتامبر و اکتبر از یک سو به دلیل عقب نشینی الگوی مونسون و از سوی دیگر عدم نفوذ الگوهای بارشی پاییزی در این زمان، ریزش‌های کم‌تری را دریافت می‌نمایند. به طور کلی در میان تمامی ماه‌های مورد مطالعه، بیش‌ترین مقدار بارش مربوط به ماه مارس (۳۳ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ماه سپتامبر (۱ میلی‌متر) بوده است (شکل ۱۱). بررسی رفتار سری زمانی بارش ماهانه حاکی از افت و خیزهای زیادی در مقادیر بارش بوده است اما تحلیل روند سری زمانی مبتنی بر روش‌های آماری، فاقد معناداری روند بارش در تمامی ماه‌های سال بوده است.

نتیجه‌گیری

بارش به عنوان منبع تأمین‌کننده آب شیرین روی کره‌ی زمین، یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی است که اهمیت آن در ادامه‌ی حیات جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی انکارناپذیر است. با توجه به تغییرات زیاد زمانی - فضایی بارش، مطالعه‌ی آن ضروری به نظر می‌رسد. اما یکی از چالش‌های اساسی برای مطالعه‌ی این پدیده، کمبود ایستگاه‌های زمینی و همچنین پراکنش نامناسب آن‌ها (به خصوص در نواحی مرتفع کوهستانی و دشت‌های بزرگ و پهناور) می‌باشد. با این وجود؛ امروزه با پیشرفت تکنولوژی و متعاقب آن علم سنجش از دور، طیف متنوعی از داده‌های ماهواره‌ای در دسترس محققان علوم محیطی قرار گرفته‌است. در همین راستا در تحقیق پیش رو با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی GPM طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۹-۲۰۰۱، به بررسی توزیع زمانی - فضایی بارش در حوضه‌ی آبریز جازموریان در جنوب‌شرق ایران پرداخته شده‌است. بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین بارش در حوضه‌ی آبریز جازموریان ۱۴۴ میلی‌متر برآورد گردید که توزیع فضایی آن در دامنه‌ای از ۲۳۲-۸۳ میلی‌متر متغیر بوده‌است. بیشینه‌ی بارش در بخش‌های شمالی و غربی و کمینه‌ی آن نیز در نواحی مرکزی و شرقی حوضه رخ داده‌است. علاوه بر این؛ بر اساس توزیع سالانه‌ی بارش در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه، بیش‌ترین مقدار بارش مربوط به سال ۲۰۱۹ با ۲۳۹ میلی‌متر و کم‌ترین آن با ۵۳ میلی‌متر در سال ۲۰۰۱ بوده‌است. به لحاظ توزیع زمانی فصلی، زمستان و بهار به ترتیب با میانگین ۷۳ و ۴۷ میلی‌متر بیش‌ترین و پاییز و تابستان با میانگین ۱۲ میلی‌متر، کم‌ترین مقادیر بارش را نشان داده‌اند. همچنین

در طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه، زمستان ۲۰۰۵ با ۱۹۳ میلی‌متر بیش‌ترین و پاییز ۲۰۰۳ نیز با ۱ میلی‌متر کم‌ترین بارش فصلی حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر این‌ها؛ نکته‌ی جالب توجه جابجایی مکانی هسته‌های پربارش در فصول مختلف سال است؛ به طوری که این هسته‌ها در فصول سرد سال در بخش‌های شمالی و غربی و در فصول گرم سال در نواحی جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی حوضه مشاهده شده‌اند. توزیع فضایی بارش ماهانه حاکی از رخداد بیش‌ترین میانگین بارش ماهانه در ماه‌های فوریه و مارس و کم‌ترین آن نیز در ماه‌های می و سپتامبر بوده‌است. همچنین، سری زمانی بارش ماهانه حاکی از رخداد بیشینه‌ی بارش در فوریه ۲۰۱۱ به مقدار (۹۴ میلی‌متر) و کمینه‌ی آن در ژانویه ۲۰۰۱ (فاقد بارش) بوده است. به طور کلی، تغییرپذیری بالای بارش این حوضه در ماه‌ها و فصول مختلف سال، حاکمیت اقلیم خشک و کم‌بارش را در این حوضه نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به وضعیت بارش و نوسانات زیاد آن تحت شرایط تغییر اقلیم، به طور حتم در آینده‌ی نزدیک این حوضه در مدیریت منابع آبی و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی با چالش‌ها و بحران‌های جدی روبرو خواهد شد. داده‌های ماهواره‌ی GPM مورد استفاده در این پژوهش، نتایج مناسب و مورد انتظاری از توزیع زمانی - فضایی بارش در حوضه‌ی آبریز جازموریان فراهم آورده و همبستگی بسیار خوبی با یافته‌های حاصل از داده‌های بارش ایستگاهی نشان داده‌است. همچنین پژوهش‌هایی در سال ۲۰۱۷ در سنگاپور (Tan and Duan, 2017) و همچنین بولیوی (Stage et al., 2017)، ضمن تأیید عملکرد مناسب داده‌های بارشی ماهواره‌ی GPM در قیاس با TRMM، استفاده از داده‌های ماهواره‌ی GPM را جهت برآورد بارش پیشنهاد داده‌اند. علاوه بر این‌ها؛ نتایج پژوهش مذکور با یافته‌های (Chavoshian and Katirae-Boroujerdy, 2019) که به بررسی بارش ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی GPM پرداختند مطابقت داشته است. آنان نیز نتایج حاصل از خروجی‌های این ماهواره را در مقایسه با سایر ماهواره‌ها قابل اعتمادتر دانسته و استفاده از آن‌ها را برای نواحی هموار پیشنهاد داده‌اند. به طور کلی، موارد اشاره شده و همچنین پوشش فضایی نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی و خلأ آماری زیاد آن‌ها در چنین حوضه‌ی نسبتاً گسترده‌ای، استفاده از این داده‌های ماهواره‌ی ارزشمند و مفید را قابل توجیه می‌سازد. با این وجود؛ پیشنهاد می‌شود داده‌های مذکور در مطالعات متعددی بر روی نواحی مختلف ایران به کار گرفته شده و نتایج آن‌ها بیش‌تر مورد ارزیابی قرار گیرد.

1. Afshin Y. 2004. Rivers of Iran. Tehran. (In Persian with English abstract)
2. Alexakis D.D., and Tsanis I.K. 2016. Comparison of multiple linear regression and artificial neural network models for downscaling TRMM precipitation products using MODIS data. *Environmental Earth Sciences* 75(14): 1077.
3. Ali bakhshi S.M., Farid Hosseiniy A.R., Davari K., Alizadeh A., and Monika H. 2017. Statistical comparison between products IMERG and TMPA 3B42V7 in the level of three precipitation data GPM and TRMM (Case study: Kashafrud catchment, Khorasan Razavi province). *Rangeland and Watershed Management, Journal of Natural Resources* 69(4): 963-981. (In Persian with English abstract)
4. Ali bakhshi S.M., Farid Hosseiniy A.R., Davari K., Alizadeh A., and Monika H. 2018. Assessment of Ground Station, GPM Satellite and MERRA Precipitation Products in Kashafrud Basin. *Journal of Watershed Management Research* 10(18): 111-122. (In Persian with English abstract)
5. Cannon F., Hecht C.W., Cordeira J.M., and Ralph F.M. 2018. Synoptic and mesoscale forcing of Southern California extreme precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123(24): 13-714.
6. Chavoshian A., and Katiraie-Boroujerdy P.S. 2019. Evaluation and application of different observational (land and satellite) datasets over Iran. *Journal of Water and Soil* 33(3): 501-520. (In Persian with English abstract)
7. Crochet P., Jóhannesson T., Jónsson T., Sigurðsson O., Björnsson H., Pálsson F., and Barstad I. 2007. Estimating the spatial distribution of precipitation in Iceland using a linear model of orographic precipitation. *Journal of Hydrometeorology* 8(6): 1285-306.
8. Dobson A.P., Bradshaw A.D., and Baker A.A. 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277(5325): 515-22.
9. Emami H., Salajegheh A., Moghadamniya A.R., and Khalighiy Sigaroodi S.H. 2020. Accuracy and efficiency of TRMM satellite in estimating monthly precipitation in Gorganrood watershed. *Journal of Ecohydrology* 7(3): 719-729. (In Persian with English abstract) [10.22059/IJE.2020.261641.917](https://doi.org/10.22059/IJE.2020.261641.917).
10. Fooladi M., Mahdavi Najafabadi R., Rezaie M., and Moslemi H. 2020. Development of Jazmourian wetland management strategies with emphasis on water resources using SWOT models and WASPAS. *Journal of Ecohydrology* 7(1): 165-182. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22059/ije.2020.291492.1231>.
11. Habibi F. 2001. Investigating the effects of Indian Manson on Iran. *Geographical Research* 39: 29-445. (In Persian with English abstract)
12. Halabian A.H. 2016. Evaluation of spatial-temporal changes the precipitation in Iran. *Journal of Engineering Ecosystem Desert* 5(13): 101-116. (In Persian with English abstract)
13. Hovmöller E. 1949. The trough-and-ridge diagram. *Tellus* 1(2): 62-66.
14. Huffman G.J., Bolvin D.T., and Nelkin E.J., Day 1 IMERG final run release notes. 2015. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center: Greenbelt, MD, USA.
15. Junzhi L., Xing Z.A., and Zheng D. 2012. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation product using rain gauge data in Meichuan Watershed, Poyang Lake basin, China. *Journal of Resources and Ecology* 3(4): 359-66.
16. Iguchi T., Seto S., Meneghini R., Yoshida N., Awaka J., Le M., Chandrasekar V., and Kubota T. 2020. GPM/DPR level-2 algorithm theoretical basis document. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA, Tech. Rep.
17. Kiani M., Lashkari H., and Ghaemi H. 2020. Statistical - Synoptic Analysis of the Extreme Precipitation in Western Iran. *Geography and Sustainability of Environment* 33: 17-38. (In Persian with English abstract)
18. Kirschbaum D.B., Huffman G.J., Adler R.F., Braun S., Garrett K., Jones E., McNally A., Skofronick-Jackson G., Stocker E., Wu H., and Zaitchik B.F. 2017. NASA's remotely sensed precipitation: A reservoir for applications users. *Bulletin of the American Meteorological Society* 98(6): 1169-84. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00296.1>.
19. Li G., Yu Z., Wang W., Ju Q., and Chen X. 2021. Analysis of the spatial Distribution of precipitation and topography with GPM data in the Tibetan Plateau. *Atmospheric Research* 247: 105259. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105259>.
20. Lussana C., Nipen T.N., Seierstad I.A., and Elo C.A. 2021. Ensemble-based statistical interpolation with Gaussian anamorphosis for the spatial analysis of precipitation. *Nonlinear Processes in Geophysics* 28(1): 61-91. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00296.1>.
21. Maussion F., Scherer D., Mölg T., Collier E., Curio J., and Finkelnburg R., 2014. Precipitation seasonality and variability over the Tibetan Plateau as resolved by the High Asia Reanalysis. *Journal of Climate* 27(5): 1910-27. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00282.1>.
22. Negaresh H., and Khosravi M. 1998. *Principal of Geomorfology Iran*. Zahedan: University of Sistan and

- Baluchestan.
23. Pashaei A. 2004. Deserts of Iran and its Paleoclimatological Characteristics. Crinsley D, Publications of the Geographical Organization of the Ministry of Defense and Support of the Armed Forces.
 24. Poorzaydi A.M., Alijani B., Saligheh M., and Gerami M.S. 2019. Spatial analysis of precipitation in Mazandaran province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences* 19(52): 1-20. (In Persian with English abstract)
 25. Qin Y., Chen Z., Shen Y., Zhang S., and Shi R. 2014. Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. *Remote Sensing* 6(11): 11649-72.
 26. Rahimi D., Khoshhal J., and Alizadeh T. 2010. Statistical-synoptic analysis of heavy rainfall in arid regions of Iran (Case study: Kerman province). *Journal of Geography and Regional Development* 8(14): 51-69. (In Persian with English abstract)
 27. Rousta I., Karampour M., Doostkamian M., Olafsson H., Zhang H., Mushore TD., Karimvandi AS., and Vargas E.R. 2020. Synoptic-dynamic analysis of extreme precipitation in Karoun River Basin, Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 13(2): 1-6. (In Persian with English abstract)
 28. Sadeghi H.R., Masoompour Samakosh J., and Miri M. 2019. The Evaluation of GPM Precipitation Remote Sensing Data with Observed Data (Case Study: Mid-West of Iran). *Iranian Remote Sensing & GIS* 11(2): 115-126. (In Persian with English abstract)
 29. Sanjari S., Farpoor M.H., Mahmoodabadi M., and Barkhori S. 2020. Comparison of Soil Taxonomy (2014) and WRB (2015) in classification of soils in Iranshahr and Dalgan Regions, Sistan and Baluchestan Province. *Journal of Water and Soil* 35(3): 1081-1091. (In Persian with English abstract)
 30. Satgé F., Xavier A., Pillco Zolá R., Hussain Y., Timouk F., Garnier J., and Bonnet M.P. 2017. Comparative assessments of the latest GPM mission's spatially enhanced satellite rainfall products over the main Bolivian watersheds. *Remote Sensing* 9(4): 369. <https://doi.org/10.3390/rs9040369>.
 31. Sharifi E., Steinacker R., and 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): 135. (In Persian with English abstract)
 32. Shokri Koochak S., Akhond Ali., A.M., and Sharifey M. 2020. Performance evaluation of PERSIANN and CDR-PERSIANN satellite precipitation algorithms and evaluation of the effect Roughness on it (Case study: Helle catchment, Iran). *Journal of Ecohydrology* 7(2): 511-527. (In Persian with English abstract)
 33. Skofronick-Jackson G., Petersen W.A., Berg W., Kidd C., Stocker E.F., Kirschbaum DB., Kakar R., Braun S.A., Huffman G.J., Iguchi T., Kirstetter P.E. 2017. The Global Precipitation Measurement (GPM) mission for science and society. *Bulletin of the American Meteorological Society* 98(8): 1679-95.
 34. Tan M.L., and Duan Z. 2017. Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sensing* 9(7): 720.
 35. Tang G., Clark M.P., Papalexou S.M., Ma Z., and Hong Y. 2020. Have satellite precipitation products improved over last two decades? A comprehensive comparison of GPM IMERG with nine satellite and reanalysis datasets. *Remote sensing of environment* 240: 111697. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111697>.
 36. Tongal H. 2019. Spatiotemporal analysis of precipitation and extreme indices in the Antalya Basin, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology* 138(3): 1735-54. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02927-4>.
 37. Vélez A., Martin-Vide J., Royé D., and Santaella O. 2019. Spatial analysis of daily precipitation concentration in Puerto Rico. *Theoretical and Applied Climatology* 136(3): 1347-55. DOI: [10.1007/s00704-018-2550-1](https://doi.org/10.1007/s00704-018-2550-1).
 38. Verma M.K., Verma M.K., and Swain S. 2016. Statistical analysis of precipitation over Seonath river basin, Chhattisgarh, India. *International Journal of Applied Engineering Research* 11(4): 2417-23.
 39. Villarini G., and Krajewski W.F. 2008. Empirically-based modeling of spatial sampling uncertainties associated with rainfall measurements by rain gauges. *Advances in Water Resources* 31 (7): 1015-23. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.04.007>.
 40. Wang Z., Zhong R., Lai C., and Chen J. 2017. Evaluation of the GPM IMERG satellite-based precipitation products and the hydrological utility. *Atmospheric Research* 196: 151-63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.06.020>.
 41. Yarahmadi D., Halimi M., and Zareiy Chaghbalky Z. 2015. Spatial analysis of monthly precipitation in northwestern Iran using spatial autocorrelation statistics. *Journal of Natural Geography Researches* 47(3): 451-464. (In Persian with English abstract).
 42. Yatagai A., Kamiguchi K., Arakawa O., Hamada A., Yasutomi N., and Kitoh A. 2012. APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(9): 1401-15. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00122.1>.
 43. Yong B., Hong Y., Ren L.L., Gourley J.J., Huffman G.J., Chen X., Wang W., and Khan S.I. 2012. Assessment of evolving TRMM-based multisatellite real-time precipitation estimation methods and their impacts on hydrologic

- prediction in a high latitude basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D9). <https://doi.org/10.1029/2011JD017069>.
44. Yong B., Liu D., Gourley J.J., Tian Y., Huffman G.J., Ren L., and Hong Y. 2015. Global view of real-time TRMM multisatellite precipitation analysis: Implications for its successor global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(2): 283-96.
45. Yuan F., Wang B., Shi C., Cui W., Zhao C., Liu Y., Ren L., Zhang L., Zhu Y., Chen T., and Jiang S. 2018. Evaluation of hydrological utility of IMERG Final run V05 and TMPA 3B42V7 satellite precipitation products in the Yellow River source region, China. *Journal of hydrology* 567: 696-711. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.045>.