


Analysis of spatial distribution of precipitation in Iran using GPM satellite precipitation data

Koohzad Raispour ¹  | Zahra Ebrahimi Emad ²  | Mahmoud Khosravi ³ 

1. Assistant Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2. Master of Climatology, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3. Professor, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran.

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received:

2022/11/19

Received:

2023/2/8

Accepted:

2023/3/16

Published:

2023/7/6

Keywords:

precipitation, GPM satellite, spatial distribution, geostatistical, Iran.

Abstract: Accurate estimation of precipitation is important for a wide range of applications and fields from hydrology to climate studies and meteorology. Due to its geographical location and climatic features, the country of Iran has high temporal and spatial fluctuations of rainfall. Due to the large losses caused by the lack of rainfall in a large part of Iran, the accurate estimation of the amount of rainfall is of vital importance and is considered one of the most important factors in the management of water resources. Therefore, the main goal of the current research is to estimate the spatial distribution of precipitation using satellite remote sensing sensors in the geographical area of Iran. To achieve this goal, calibrated rainfall data of level 3 version 6 of GPM satellite with a spatial resolution of 0.1 x 0.1 degrees from January 2001 to December 2019 were used for the geographical area of Iran. After quality control, pre-processing and validation, relevant data were processed by specialized software (ENVI, ArcGIS and EXCELL) and necessary outputs were prepared. The results showed that there is a great similarity between GPM satellite rainfall data and station rainfall. Among the studied months; The highest amount of rainfall was estimated in January and March and the lowest amount was estimated in July and August. In terms of monthly spatial distribution, the heterogeneous distribution of precipitation has been evident. Among the rainfall zones, the highest amount of rainfall is related to the rainfall zone of the Caspian Sea coast and then the central Zagros highlands in the west of Iran. The lowest amount of precipitation was also estimated in a wide area of Iran in the central and eastern regions. The seasonal distribution also indicates a significant difference in the distribution of precipitation in different seasons of the year, so that the highest amount of precipitation is related to the winter season and the lowest amount is estimated to be in the summer season. The average rainfall in Iran is 259 mm, which varies from 189 to 344 mm in different years. The comparison of Iran's rainfall with the world's average rainfall, which is about 800 mm, indicates the low rainfall of Iran. On the other hand, this small amount of rainfall does not have a homogeneous spatial distribution, so that its largest amount is concentrated in the coastal areas of the north and west, and the smallest amount is concentrated in large areas of central and eastern Iran. A time series analysis based on GPM satellite rainfall data has shown that its trend is decreasing (although with weak significance) on the one hand, and on the other hand, the dominance of negative rainfall anomaly over a wide area of Iran. The continuation of these conditions can seriously challenge water resources and environmental ecosystems.

Cite this article: Raispour, K., Ebrahimi Emad, Z., Khosravi, M. (2023). Analysis of spatial distribution of precipitation in Iran using GPM satellite precipitation data. *Climate Change and Climate Disasters*, 2(3), 108-141.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





تحلیل توزیع مکانی بارش در ایران با استفاده از داده‌های بارش ماهواره GPM

کوهزاد رئیس پور^۱ | زهرا ابراهیمی عماد^۲ | محمود خسروی^۳

۱. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد، رشته آب و هواشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳. استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۸

بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

انتشار: ۱۴۰۲/۳/۱۵

واژگان کلیدی:

بارش، ماهواره ی GPM، توزیع مکانی، زمین آمار، ایران.

چکیده: برآورد دقیق مقدار بارش برای طیف گسترده ای از کاربردها و زمینه ها از هیدرولوژی تا مطالعات اقلیمی و هواشناسی مهم است. کشور ایران به فراخور موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های اقلیمی از نوسانات زمانی و مکانی زیاد بارش برخوردار است. به دلیل خسارات زیاد ناشی از کمبود بارش در بخش وسیعی از ایران، برآورد دقیق مقدار بارش از اهمیت حیاتی برخوردار بوده و از مهمترین عوامل موثر در مدیریت منابع آب محسوب می شود. از این رو، هدف اصلی پژوهش حاضر برآورد توزیع مکانی بارش با استفاده از داده های سنجنش از دور ماهواره ای در گستره ی جغرافیایی کشور ایران است. برای نیل به این هدف، از داده های بارش کالیبره شده ی سطح ۳ نسخه ی ۶ ماهواره ی GPM با تفکیک فضایی 0.1×0.1 درجه از ژانویه ۲۰۰۱ تا دسامبر ۲۰۱۹ برای محدوده ی جغرافیایی گستره ی ایران استفاده شد. داده‌های مربوطه پس از کنترل کیفی، پیش پردازش و صحت سنجی، توسط نرم‌افزارهای تخصصی (ENVI، ArcGIS و EXCELL) مورد پردازش قرار گرفت و خروجی‌های لازم تهیه شد. نتایج نشان داد که شباهت زیادی میان داده های بارش ماهواره ی GPM با بارش ایستگاهی وجود دارد. در میان ماه های مورد مطالعه؛ بیشترین مقدار بارش مربوط به ژانویه، مارس و کمترین مقدار آن در ژولای و آگوست برآورد گردید. به لحاظ توزیع مکانی ماهانه نیز، توزیع ناهمگن بارش مشهود بوده است. در میان پهنه های بارشی، بیشترین مقدار بارش مربوط به پهنه ی بارشی ساحل دریای خزر و پس از آن ارتفاعات زاگرس مرکزی در غرب ایران می باشد. کمترین مقدار بارش نیز در گستره ی وسیعی از کشور ایران در نواحی مرکزی و شرقی برآورد شد. توزیع فصلی نیز حاکی از تفاوت معنادار توزیع بارش در فصول مختلف سال است، به طوری که بیشترین مقدار بارش مربوط به فصل زمستان و کمترین مقدار آن در فصل تابستان برآورد گردید. میانگین بارش در کشور ایران ۲۵۹ میلی متر است که مقدار آن در سال های مختلف از ۱۸۹ تا ۳۴۴ میلی متر متغیر بوده است. مقایسه ی بارش ایران با میانگین بارش جهانی که حدود ۸۰۰ میلی متر است به خوبی از کم بارش بودن گستره ی ایران حکایت دارد. از سویی دیگر، همین مقدار ناچیز بارش از توزیع مکانی همگنی برخوردار نیست، به طوری که بیشترین مقدار آن در ناحیه ی ساحلی شمال و غرب و کمترین مقدار آن بر نواحی وسیعی از ایران مرکزی و شرق ایران متمرکز است. بررسی سَری زمانی مبتنی بر داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM حاکی از کاهش یی بودن روند آن (هر چند با معناداری ضعیف) از یک سو و از سوی دیگر حاکمیت ناهنجاری منفی بارش بر گستره ی وسیعی از ایران بوده است. تداوم این شرایط می تواند منابع آب و اکوسیستم های محیطی را با چالش جدی مواجه نماید.

استناد: رئیس پور، کوهزاد، ابراهیمی عماد، زهرا، خسروی، محمود (۱۴۰۲). تحلیل توزیع مکانی بارش در ایران با استفاده از داده های بارش ماهواره GPM. دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۲(۳)، ۱۰۸-۱۴۱

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان.



مقدمه

می‌باشد. گرچه ایستگاه‌های باران سنجی اندازه‌گیری خیلی دقیقی از میزان و عمق بارندگی به صورت نقطه‌ای به دست می‌دهند، با این حال کمبود اصلی آن‌ها این است که اندازه‌گیری‌های آن‌ها به صورت نقطه‌ای بوده و برای حوضه‌های بزرگ کاربردی نیستند (متکان و همکاران، ۱۳۸۸). برهمین اساس با شناسایی این محدودیت‌های کاربردی در ایستگاه‌های زمینی، دانشمندان روش سنجش از دور را به عنوان ابزاری تولنا برای تعیین کمی بارش ورودی به سطح زمین بکار می‌گیرند. از این رو استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی بالا توصیه می‌شود. اما لازم است قبل از استفاده از این داده‌ها، دقت زمانی و مکانی آن‌ها برآورد شود (مددی و همکاران، ۱۳۹۴). وانگ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های زمینی درحوضه رودخانه‌ی بیجینگ در کشور چین به بررسی و ارزیابی نسل جدید ماهواره‌ی GPM^1 با محصول IMERG و ماهواره‌ی TRMM با محصول 3B42-V7 پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داده است که

بارندگی مهمترین عاملی است که در چرخه‌ی هیدرولوژی، دخالت مستقیم دارد. به دست آوردن اطلاعات دقیق بارش، برای تحلیل پدیده‌های گوناگون هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیمی امری ضروری است (بی‌همتا و همکاران، ۱۳۹۷). اندازه‌گیری دقیق مقدار بارش، کاربردهای بسیاری در زمینه‌های مختلف همچون موضوعات اقلیمی، کشاورزی، خشکسالی، بلایای طبیعی و آب‌شناسی دارد (اردونی و همکاران، ۱۳۹۶). داده‌های ماهواره‌ای بارش از چند دهه قبل مورد توجه دانشمندان علم هیدرولوژی و دیگر رشته‌ها قرار گرفته و وارد مطالعات علمی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی شده‌اند (علی بخشی و همکاران، ۱۳۹۵). اندازه‌گیری و برآورد بارندگی در سطح منطقه‌ای به ما کمک می‌کند تا درک درستی از آب و چرخه انرژی به دست آوریم. با توجه به تغییر پذیری زیاد مقدار بارش در مکان و زمان، نظارت بر آن در مقیاس‌های منطقه‌ای به وسیله‌ی ایستگاه‌های زمینی بسیار دشوار

داده‌های ماهواره‌ی IMERG-F از دقت بالا و ضریب همبستگی بالا (۰/۶۳) برخوردار است. پراکاش و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی و صحت‌سنجی عملکرد TMPA نسبت به TMERG برای تخمین بارش سنگین در هند پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ارزیابی بارش ماهواره‌ای IMERG که براساس GPM در فصل‌های بارندگی موسمی جنوب غربی انجام می‌گیرد نشان می‌دهد که GPM نسبت به TMPA در تشخیص بارش سنگین هند از اعتماد بیشتری برخوردار است. تانگ و همکاران (۲۰۱۶)، طی یک تحقیق، داده‌های زمینی در ۶ منطقه‌ی چین را با داده‌های بارش پایگاه‌های IMERG، مقایسه و ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که IMERG در عرض‌های جغرافیایی بالا و متوسط و همچنین در مناطق آب و هوایی خشک دارای عملکرد بهتری می‌باشد. همچنین در تحقیقی مشابه که توسط تیکیلی و فولی (۲۰۱۶) انجام شده است امکان استفاده از محصول ماهواره‌ی TRMM در پیش‌بینی بارش‌های

سیل‌آسای شهر الریاض، بررسی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده‌ی دقت بالای داده‌های مورد استفاده بوده و پیشنهاد شده که برای ایجاد یک سیستم هشدار سیل می‌توان از این داده‌ها استفاده کرد. همچنین در این خصوص می‌توان به تحقیقات؛ موفیت و همکاران (۲۰۱۱)، المزروعی (۲۰۱۱)، هونگ و همکاران (۲۰۰۷)، جویس و همکاران (۲۰۰۴) اشاره نمود. نتایج حاصل از تحقیقات آن‌ها به خوبی نشان داد که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تخمین خوبی از بارش در مناطق مورد مطالعه ارائه می‌دهد. علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۷) با هدف مقایسه‌ی کمی محصولات بارش MERRA و ماهواره‌ی GPM با ایستگاه‌های زمینی مطالعاتی انجام دادند. در این پژوهش برای مقایسه در مقیاس مکانی از دو روش مقایسه‌ی حوضه‌ای و ایستگاهی و همچنین مقایسه‌ی زمانی روزانه و ماهانه استفاده گردید. برای اعتبارسنجی از معیارهای آماری MAE, RMSE, CSI و POD، FAR، BIAS، CC استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد داده‌های بارش روزانه HQ متعلق

داده‌های ماهواره‌ی IMERG-F از دقت بالا و ضریب همبستگی بالا (۰/۶۳) برخوردار است. پراکاش و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی و صحت‌سنجی عملکرد TMPA نسبت به TMERG برای تخمین بارش سنگین در هند پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ارزیابی بارش ماهواره‌ای IMERG که براساس GPM در فصل‌های بارندگی موسمی جنوب غربی انجام می‌گیرد نشان می‌دهد که GPM نسبت به TMPA در تشخیص بارش سنگین هند از اعتماد بیشتری برخوردار است. تانگ و همکاران (۲۰۱۶)، طی یک تحقیق، داده‌های زمینی در ۶ منطقه‌ی چین را با داده‌های بارش پایگاه‌های IMERG، مقایسه و ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که IMERG در عرض‌های جغرافیایی بالا و متوسط و همچنین در مناطق آب و هوایی خشک دارای عملکرد بهتری می‌باشد. همچنین در تحقیقی مشابه که توسط تیکیلی و فولی (۲۰۱۶) انجام شده است امکان استفاده از محصول ماهواره‌ی TRMM در پیش‌بینی بارش‌های

به ماهواره‌ی GPM از دقت بالاتری نسبت به داده MERRA در منطقه-ی مورد مطالعه برخوردار است و مطابقت خوبی با داده‌های زمینی داشته و می‌تواند توزیع مکانی و زمانی بارندگی در سطح حوضه را نشان دهد. در مقابل، داده‌های MERRA در مقایسه زمانی ماهانه از دقت بالاتری نسبت به داده‌های GPM برخوردار بود. میزان RMSE برای داده MERRA در مقیاس روزانه در سطح ایستگاه و حوضه به ترتیب برابر $6/3$ و $2/84$ و در مقیاس ماهانه برابر $2/8$ و $1/74$ است. همچنین میزان RMSE برای داده HQ در سطح ایستگاه حوضه در دوره روزانه برابر $1/78$ و $1/72$ و در دوره‌ی ماهانه برابر $6/07$ و $6/46$ است. بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷) با مطالعه و بررسی میزان دقت داده‌های بارش دو ماهواره GPM با محصول IMERG و TRMM با محصول 3B42، در چهار ایستگاه سینوپتیک شهر تهران در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی به این نتایج دست یافتند که مقادیر MAE، Bias و RMSE تأیید کرد که هر دو محصول 3B42 و IMERG، در

ایستگاه شمیران، کمترین میزان خطا را با داده‌های مشاهده‌ای دارند. همچنین، در ارزیابی محصول IMERG با مقادیر بارش ایستگاه شمیران، میزان همبستگی در این ایستگاه در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی، به ترتیب ۵۷ درصد، ۸۳ درصد و ۸۷ درصد مشخص شد. به طور کلی می‌توان گفت، با توجه به تکنولوژی برتر ماهواره‌ی GPM داده‌های IMERG مربوط به این ماهواره دقت بالایی دارد و ابزار خوبی برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی است. تقی‌زاده و احمدی گیوی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به برآورد بارش روزانه‌ی سه اجرای IMERG (نسخه ۴) و مقایسه-ی نتایج حاصله با داده‌های بارش ۲۲ ایستگاه همدیدی سازمان هواشناسی کشور واقع در شمال غرب و غرب ایران، برای دوره‌ی آوریل ۲۰۱۶ تا فوریه ۲۰۱۷ پرداختند. کمیت‌های راست آزمایی برای دو آستانه‌ی وقوع بارش (0.1mm/day) و نیز بارش‌های متوسط یا بیشتر (5mm/day) محاسبه شدند. نتایج به دست آمده از برآورد این سه اجرا (محصولات) رابطه‌ی خوبی را نشان

این ماهواره شناسایی شد. از داده‌های ثبت شده در ۱۰ ایستگاه هواشناسی برای تحلیل صحت درستی داده‌های ماهواره‌ای شناسایی شد. برای ارزیابی نتایج از ضریب تعیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج شاخص‌های ارزیابی $RMSE=12.4$ mm و $R^2 = 0.81$ حاصل، حاکی از دقت مطلوب تخمین مقادیر بارش توسط ماهواره GPM می‌باشد. شریفی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به مقایسه‌ی نسخه کالیبره شده‌ی Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM (IMERG) که محصول GPM Constellation Satellites می‌باشد، با محصول بازیابی شده‌ی ERA-Interim با ایستگاه سینوپتیک هواشناسی مهرآباد در مقیاس روزانه پرداختند. این ارزیابی برای یک دوره یک ساله از اسفند ۱۳۹۲ تا بهمن ۱۳۹۳ انجام شده‌است. نتایج نشان داد که در مقیاس روزانه محصول ماهواره‌ای IMERG در این منطقه تمایل به برآورد بیشتر دارند در حالیکه ERA-Interim تمایل به برآورد کمتری در مقایسه با داده‌های ایستگاه مهرآباد دارد. آنها اظهار نمودند داده‌های

داده است. به علاوه، در این تحقیق با استفاده از این دو سامانه‌ی ماهواره‌ای، نقشه‌برداری ماهواره‌ای سیل شدید در شمال غرب ایران در ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ (۲۵ فروردین ۱۳۹۶) انجام شده‌است. مطابقت تغییرات محصول رطوبت خاک حاصل از SMAP با سامانه‌ی بارشی آشکار سازی شده توسط GPM دلالت بر امکان استفاده عملیاتی ترکیبی این دو مأموریت برای ارزیابی و پایش سیل دارد. اردونی و همکاران (۱۳۹۶) باهدف کاربرد داده‌های جهانی بارش GPM در مدیریت مخاطرات محیطی به بررسی مزیت‌های ماهواره‌های برآورد بارش پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که داده‌های بارندگی ماهواره GPM از پتانسیل بالایی برای برآورد مقادیر بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف برخوردار است. زمردیان و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی امکان استفاده از داده‌های بارش GPM را برای تخمین بارش‌های سنگین مورد بررسی قرار دادند. تعداد شش واقعه‌ی بارش سنگین در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ از داده‌های هواشناسی گیلان برای مقایسه با بارش اندازه‌گیری شده توسط

بارش GPM عملکرد قابل قبول تری نسبت به محصولات دیگر داشته و پیشنهاد دادند مددی و همکاران (۱۳۹۴) نیز با بررسی تغییرات میزان بارش در دوره‌ی آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۰، سری زمانی و مکانی ضریب همبستگی پیرسون را برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از داده‌های ایستگاهی و ماهواره‌ای مورد محاسبه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در مقیاس‌های ماهانه و سالانه وجود دارد. امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل و بررسی میزان انطباق آمار بارندگی ماهواره‌ی TRMM با ایستگاه‌های اقلیمی زمینی در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان انطباق و همبستگی بالای ۹۵ درصد بین آمار بارندگی سالانه و همبستگی بالای ۹۹ درصد بین آمار بارندگی ماهانه ماهواره با آمار ایستگاه‌های اقلیمی زمینی وجود دارد. احمدی و نارنگی‌فرد (۱۳۹۱) به منظور ارزیابی پهنه‌های بارشی در استان فارس از داده‌های

ماهواره TRMM، به طور جداگانه برای فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان در بازه زمانی (۲۰۱۲-۱۹۹۸) استفاده نموده که یافته‌های پژوهش نشان داد بیشینه‌ی میانگین سالانه‌ی بارش در مناطق باختری و کمینه‌ی آن در نواحی جنوب و جنوب خاوری روی می‌دهد. همچنین تغییرات مکانی قابل توجهی در پهنه‌های بارشی در محدوده‌ی سرزمین پژوهش در مقیاس‌های فصلی و سالانه به جز در فصل تابستان وجود ندارد. میررحیمی و فیضی‌زاده (۱۳۸۷) در یک تحقیق میزان انطباق داده‌های بارش زمینی و داده‌های رادار و TRMM را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که داده‌های رادار دارای همبستگی معناداری با داده‌های بارش زمینی در منطقه‌ی شمال باختری ایران می‌باشد. بررسی بیشینه‌ی پژوهش نشان داده است اکثر پژوهش‌های انجام شده در خصوص استفاده و واسنجی داده‌های بارش ماهواره GPM در خارج از کشور انجام شده‌است و تنها معدود مطالعاتی در مقیاس زمانی و مکانی محدود از این داده‌ها به ارزیابی و واسنجی داده‌های بارش در داخل

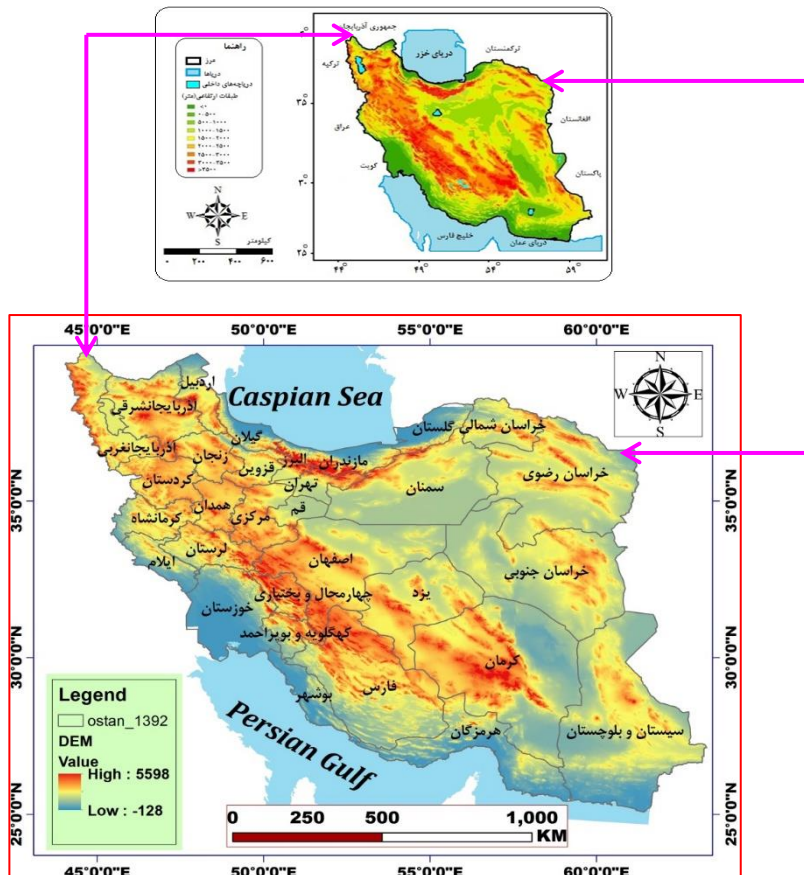
داده‌های بارش ماهواره GPM پایش گردیده و تحلیلی جامع در خصوص توزیع زمانی و مکانی آن در گستره‌ی ایران ارائه شود.

۱. داده‌ها و روش‌ها

۱.۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق کل پهنه ایران زمین می‌باشد. ایران کشوری پهناور در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و جنوب غربی آسیا (خاورمیانه) واقع در مرز بین دریای خزر و خلیج فارس با موقعیت جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی عرض شمالی از خط استوا و ۴۴ تا ۶۳/۵ درجه‌ی طول شرقی از نیمروز گرینویچ قرار دارد که با مساحتی معادل ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع حدود ۳/۲ درصد از خشکی‌های سطح زمین را در بر گرفته است (شکل ۰.۱).

کشور انجام شده‌است. از آنجا که بیشتر مناطق ایران دارای اقلیم خشک، و نیمه خشک است، آگاهی از مقدار و تغییرات زمانی - مکانی بارش در هر منطقه برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سطحی بسیار مفید است. در ایران بارش یکی از پارامترهای اساسی برای ارزیابی مهبیایی بالقوه منابع آب است اما توزیع زمانی و مکانی آن بسیار نایکنواخت است و به همین دلیل توزیع منابع آب کشور نیز یکنواخت نیست. بنابراین تحلیل توزیع زمانی - مکانی بارش در گستره‌ی جغرافیایی کشور ایران از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از آن جایی که تکنولوژی سنجش از دور به عنوان یکی از روش‌های جدید و کار آمد در پیش‌بینی بارش طی سال‌های اخیر کاربرد فراوانی پیدا نموده است، لذا در این تحقیق تلاش می‌شود تا وضعیت بارش در کشور ایران طی دو دهه‌ی اخیر (۲۰۱۹ - ۲۰۰۱) با استفاده از



شکل ۱: نقشه ی منطقه ی مورد مطالعه به همراه تقسیمات استانی و مدل ارتفاعی (DEM)

از میان داده‌های بارش ماهواره‌های مختلف، فرآورده‌های بارش ماهواره‌ی GPM به عنوان دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین آن‌ها بوده و به طور وسیعی در زمینه‌های متنوعی استفاده شده‌است (شریفی و همکاران، ۲۰۱۶؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ یوان و همکاران، ۲۰۱۸؛ تانگ و همکاران،

۲-۱-۱ داده‌ها

در سال‌های اخیر، استفاده از فرآورده‌های ماهواره‌ای در برآورد بارش کاربرد گسترده‌ای پیدا نمود (هافمن و همکاران، ۲۰۱۵؛ یونگ و همکاران، ۲۰۱۵). (هو و همکاران، ۲۰۱۴). مطالعات متعددی نشان داده است که

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 گستره‌ی ایران تهیه شد. به طور کلی خروجی‌های حاصل از داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM نتیجه‌ی اعمال محاسبات بر روی دو ماتریس ماهانه به ابعاد 228×16482 (۲۲۸ معرف تعداد مشاهدات در ماه‌های پیاپی از ۲۰ سال مورد مطالعه 12×20) و 16482 معرف تعداد نقاط شبکه‌بندی شده‌ی ماهواره‌ی GPM با قدرت تفکیک مکانی افقی 0.1×0.1 درجه در پهنا‌ی جغرافیایی کشور ایران) و فصلی به ابعاد 76×16482 (۷۶ معرف تعداد مشاهدات در فصول پیاپی 4×19) 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. در

۲۰۲۰) در این خصوص می‌توان به برخی از کاربردهای ماهواره‌ی مذکور در مواردی از قبیل بارندگی‌های شدید، پیش‌بینی مخاطرات و شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی اشاره کرد (لی و همکاران، ۲۰۲۱).

در این پژوهش از داده‌های 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 مورد استفاده با تفکیک فضایی 0.1×0.1 درجه از ژانویه ۲۰۰۱ تا دسامبر ۲۰۱۹ برای محدوده‌ی جغرافیایی گستره‌ی ایران استفاده استخراج گردید.

۳-۱- روش‌ها

داده‌های مربوطه دارای فرمت NCDF و از سیستم تصویر UTM با 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 رقومی بوده و مقادیر آنها ارزش

ابعاد $0/1 \times 0/1$ (درجه) که ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی بر روی آنها قرار می‌گرفتند برآورد شد و مقادیر اختلاف و همبستگی بین دو پایگاه مورد استفاده، در مقیاس سالانه فصلی و ماهانه محاسبه گردید. یافته‌ها نشان داد؛ مقادیر بلندمدت بارش برآورد شده توسط ماهواره‌ی GPM در گستره‌ی ایران تشابه زیادی با مقادیر بارش حاصل از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک داشته است. به لحاظ فصلی نیز مقادیر بارش برآورد شده توسط سنجنده‌ی مورد استفاده، در فصل پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) ۶ درصد، زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) ۵/۸ درصد، فصل بهار ۳/۵ درصد و فصل تابستان ۱/۸ درصد کمتر از برآورد بارش ایستگاه‌های هواشناسی است. به لحاظ ماهانه نیز کمترین میزان اختلاف با مقدار ۱/۲ درصد مربوط به ماه ژولای و بیشترین اختلاف با مقدار ۶/۸ درصد در ماه ژانویه برآورد گردید. همچنین برآورد همبستگی داده‌ها براساس ضریب همبستگی پیرسون (Rp) نشان داد که مقدار همبستگی بین مقادیر بارش برآورد شده توسط سنجنده‌ی GPM و ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی، در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه از ۰/۷۶ تا ۰/۹۱

گام نهایی نیز واکاوی، تفسیر و تحلیل یافته‌ها برای دستیابی به هدف پژوهش (تحلیل توزیع زمانی- مکانی بارش در ایران با استفاده از داده‌های بارش ماهواره GPM طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۹-۲۰۰۱) جای گرفت.

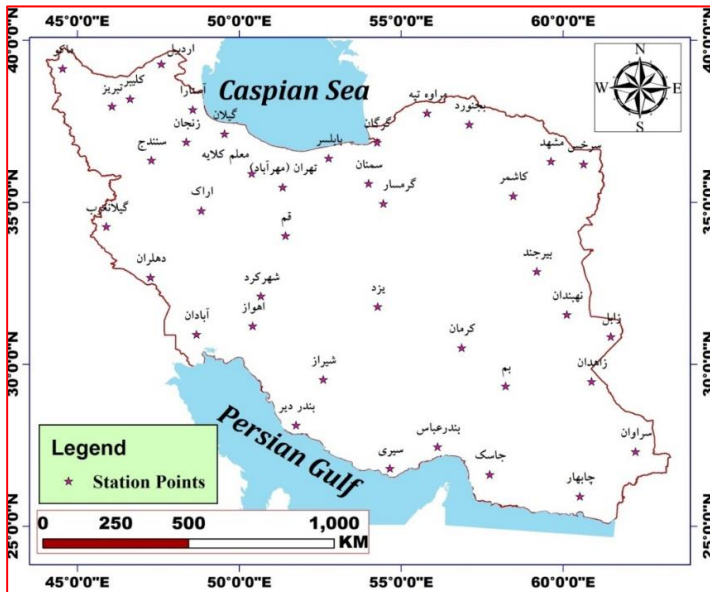
۲. یافته‌ها و نتایج

واسنجی داده‌ها

واسنجی و صحت‌سنجی داده‌های سنجنش از دور ماهواره‌ای یکی از مهمترین الزامات قبل از ارائه‌ی یافته‌های حاصل از به کارگیری داده‌ها در حوزه‌های مطالعاتی مختلف است. گرچه هدف از پژوهش حاضر اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای نیست اما به منظور نشان دادن دقت این داده‌ها و صحت‌سنجی آنها نیاز به استفاده از داده‌های زمینی وجود دارد. در این مطالعه نیز، جهت بررسی صحت داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM از داده‌های مشاهده‌ای مقادیر میانگین بارش ۴۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ایران که به طور نسبی پوشش مناسبی از کل کشور را فراهم نموده و مقادیر بارش آنها بر اساس میلی‌متر ثبت شده است استفاده شد. در گام بعدی مقادیر بارش مربوط به پیکسل‌هایی (۴۰ پیکسل و هر پیکسل با

درصد متغیر بوده است که همبستگی نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد. به لحاظ مکانی نیز بیشترین همبستگی میان داده های بارش ایستگاهی با داده های بارش ماهواره ای در ناحیه ی شکل ۳: پراکنش مکانی ایستگاه های سینوپتیک مورد استفاده در اعتبارسنجی داده های ماهواره ای

کوهستانی غرب و شمال غرب ایران و کمترین همبستگی مربوط به ایستگاه های ساحلی (بخصوص ناحیه ی ساحلی دریای خزر) بوده است.

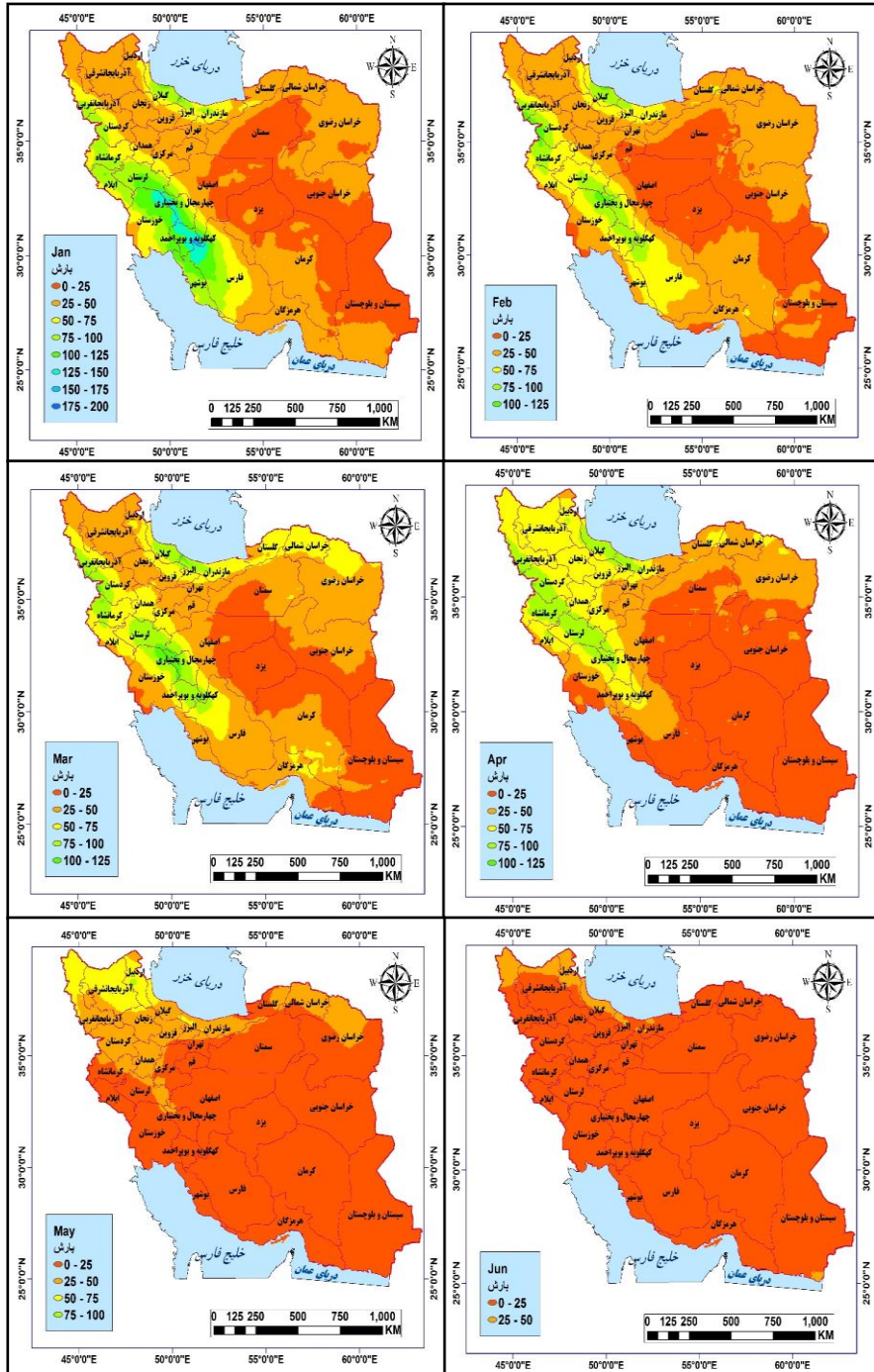


توزیع مکانی بارش ماهانه

شکل شماره ۳ نقشه های توزیع مکانی میانگین بارش مربوط به شش ماه نخست سال (بر حسب تقویم میلادی) را نشان می‌دهد. همان طوری که مشاهده می‌شود؛ در ماه ژانویه بیشترین میانگین بارش ایران در نواحی جنوب و جنوب غرب دریای خزر و همچنین در جنوب غرب کشور اتفاق می‌افتد. بیشترین تمرکز بارش (۱۷۵ تا ۲۰۰ میلی متر) نواحی جنوب غربی چهارمحال و بختیاری، قسمتی از شمال شرق خوزستان، شمال شرق استان کهکلوپه و بویراحمد و قسمتی از شمال غرب استان فارس را در بر گرفته است. مناطق شمال شرقی و شمال غربی و همچنین جنوب شرقی از بارندگی نسبتاً کمی (بین ۲۵ تا ۵۰ میلی متر) برخوردارند. مناطق شرقی و مرکزی ایران بارندگی بسیار کمی (بین ۰ تا ۲۵ میلی متر) دارند.

در ماه فوریه بارش نسبت به ماه ژانویه کمی کاهش پیدا کرده است. اما مناطق تحت پوشش بارش مانند ماه قبل می باشد. بیشترین تمرکز بارش (بین ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلی متر) در شمال و جنوب غرب ایران قرار دارد و در نواحی مرکزی ایران بارش به کتر از ۲۵ میلی متر می رسد. کاهش میزان بارش در ماه مارس نسبت به ماه فوریه نیز مشهود است. در ماه مارس نواحی مرکزی ایران همچنان دارای بارشی کمتر از ۲۵ میلی متر است. و تمرکز بارش همانند ماه های قبل در نواحی شمالی و جنوب غربی ایران (بین ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلی متر) می باشد با این تفاوت که در این ماه نواحی شمال شرق ایران مانند گلستان و خراسان شمالی و قسمتی از خراسان رضوی دارای بارشی بین ۵۰ تا ۷۵ میلی متر می باشند. توزیع مکانی بارش در ماه آوریل مانند ماه مارس بوده است اما نواحی تحت پوشش بارندگی تغییر کرده است. در این ماه تمام مناطق غربی، شمال غربی و شمالی ایران دارای بارندگی می باشند و مقدار خیلی کمی بارش پراکنده بین ۵۰ تا ۷۵ میلی متر در شمال شرق ایران به چشم می خورد و نواحی مرکزی و جنوبی و شرقی ایران دارای بارش کمتر از ۲۵ میلی متر می باشد. در ماه می میانگین بارش در ایران بسیار کم شده است و در نواحی شمالی و شمال غرب ایران و منطقه ای در شمال شرق ایران بارندگی (بین ۲۵ تا ۷۵ میلی متر) وجود دارد. تنها منطقه ای که در این ماه بارندگی نسبتاً خوبی داشته غرب استان اردبیل (بین ۷۵ تا ۱۰۰ میلی متر) بوده است. به جز نواحی نام برده سایر نواحی ایران بارشی کمتر از ۲۵ میلی متر داشته اند. در ماه ژوئن تنها نوار باریکی در شمال غرب ایران و یک منطقه ای بسیار کوچک در جنوب شرق سیستان و بلوچستان دارای بارندگی بسیار کمی (بین ۲۵ تا ۵۰ میلی متر) بوده است و دلیل وجود این بارندگی بارش های موسمی می باشد. هوای گرم و مرطوب موسمی در حاشیه ی شمالی این فروربار در امتداد دامنه ی جنوبی هیمالیا به طرف شرق حرکت کرده و از مرز پاکستان وارد ایران می شود. در صورت مساعد بودن شرایط هوای ایران، توده ی هوای موسمی به نواحی شمالی کشور گسترش می یابد (علیچانی، ۱۳۹۲). به جز نواحی ذکر شده سایر نواحی ایران از بارشی کمتر از ۲۵ میلی متر برخوردار هستند.

شکل ۳: توزیع مکانی بارش شش ماه نخست در ایران طی دوره ی آماری (۲۰۱۹-۲۰۰۱)



ایران دارای بارشی کمتر از ۲۵ میلی‌متر بوده‌اند. علت کمبود بارش پهنه ایران در سه ماه گذشته (جولای- اگوست- سپتامبر) را می‌توان به استیلای حاکمیت پر فشار آزرور مربوط دانست که مانع ایجاد بارش در این سه ماه می‌باشد. در دوره‌ی گرم سال به دلیل استقرار مرکز پرفشار جنب حاره‌ای آزرور بر بالای خاورمیانه، شرایط پایداری به وجود می‌آید. بر اثر استیلای دراز مدت این شرایط، توده هوای قاره‌ای حاره‌ای (CT) بر روی ایران تشکیل می‌شود. این توده‌ی هوا بسیار گرم و خشک است و شرایط خشکی بر همه جای ایران مستولی می‌شود. ضخامت این توده هوا کم است و بر بالای آن پر فشار جنب حاره‌ای آزرور مستقر است (علیجانی، ۱۳۹۲). در ماه اکتبر مقدار بارش نسبت به ماه سپتامبر افزایش پیدا کرده و تقریباً تمام مناطق شمالی، شمال غربی و غربی ایران را پوشش داده است. در این ماه تمرکز بارش بیشتر در استان‌های شمالی ایران و سواحل دریای خزر (بین ۱۵۰ تا ۱۷۵ میلی‌متر) قرار گرفته است. مناطق جنوبی، شرقی، شمال شرقی و مرکزی ایران بارشی کمتر از ۲۵ میلی‌متر داشته‌اند. در ماه نوامبر هم بمقدار و هم

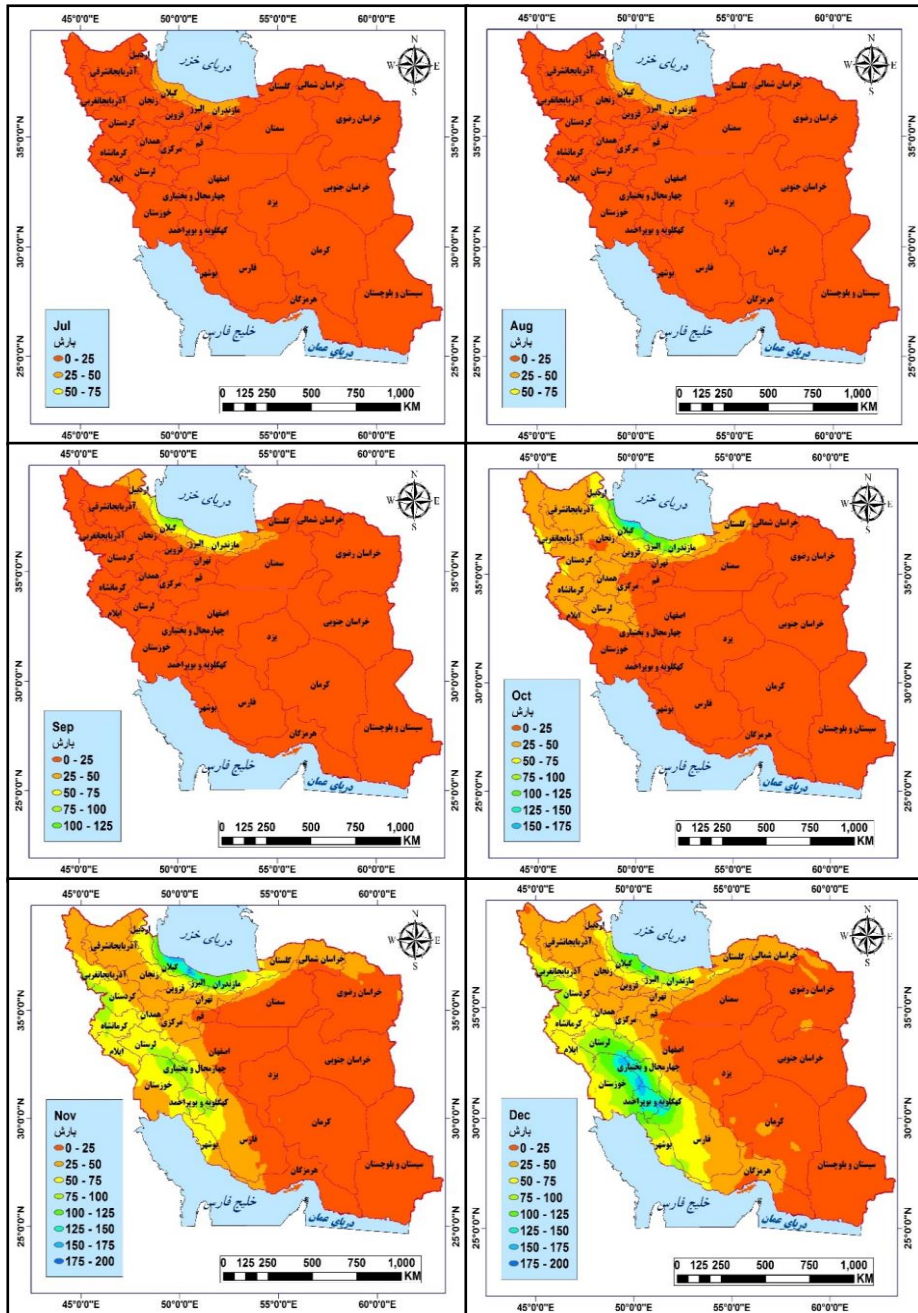
نقشه‌های مربوط به توزیع مکانی بارش شش ماه دوم سال در شکل شماره ۴ ارائه شده است. بر اساس نقشه‌های مربوطه؛ در ماه جولای تنها اندکی بارش در سواحل جنوبی دریای خزر وجود دارد. مقدار این بارش بسیار اندک (بین ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر) بوده است. تمام مناطق ایران بجز سواحل دریای خزر بارشی کمتر از ۲۵ میلی‌متر دارند. در ماه اوت نیز پهنه ایران جولای در کم بارش-ترین شرایط خود قرار دارد و تنها مقدار ناچیز بارش (بین ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر) در سواحل دریای خزر وجود دارد و سایر نواحی ایران بجز سواحل دریای خزر که شامل تمام ایران می‌شود بارشی کمتر از ۲۵ میلی‌متر دارند. با ورود به ماه سپتامبر، بارش در شمال و شمال غرب کشور افزایش پیدا کرده است (بین ۲۵ تا ۷۵ میلی‌متر) به گونه‌ای که شهرهای اردبیل، گیلان، مازندران و قسمت‌های کوچکی از شمال استان‌های تهران و البرز و محدوده‌ی کمی از قسمت‌های شمال شرق استان‌های قزوین و زنجان را در بر گرفته و بیشترین تمرکز بارش (بین ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلی‌متر) در شمال استان گیلان بوده است. در این ماه تمام استان‌های جنوبی، غربی، شرقی و مرکزی

نواحی شرقی استان خوزستان می‌باشد که مرکز این بارندگی بارشی به میزان ۱۷۵ تا ۲۰۰ میلی‌متر دارد.

به طوری کلی می‌توان گفت در سه ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر سیر افزایش بارش در ایران محرز است. علت افزایش بارش در ایران در ماه‌های مذکور، ورود بادهای غربی و پس‌روی پرفشار آזור می‌باشد. در دوره‌ی سرد سال به دنبال پسروی رودباد جنب حاره‌ای به طرف جنوب، بادهای غربی به ایران وارد می‌شوند. این پیشروی از اوایل پاییز آغاز می‌شود و تا شروع زمستان بادهای غربی بر همه جای ایران مستقر شده‌اند. گسترش بادهای غربی با تشدید سرعت آن‌ها همراه است و در نتیجه با خودشان رودباد جبهه قطبی را نیز می‌آورند. این بادهای همراه موج‌های کوتاه و بلند خود و سیکلونها شرایط لازم را برای افزایش میزان بارش در این موقع از سال فراهم می‌نمایند. (علیجانی، ۱۳۹۲).

گستره تحت پوشش بارش افزایش یافته به طوری که تقریباً بیش از نیمی از ایران را فرا گرفته است. مقدار بارندگی در ناحیه شمالی (بین ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر)، شمال غرب (بین ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر)، غرب (بین ۵۰ تا ۱۲۵ میلی‌متر)، جنوب غرب (بین ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌متر) و برخی از استان‌های جنوبی مانند فارس و بوشهر (بین ۲۵ تا ۷۵ میلی‌متر) و بخشی از مناطق شمال شرقی (استان‌های گلستان و خراسان شمالی) بارشی بین ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر برآورد شده است. مناطق مرکزی ایران و نواحی شرقی و برخی از استان‌های جنوبی مانند هرمزگان همچنان بارشی کمتر از ۲۵ میلی‌متر داشته و در ردیف پهنه کم بارش قرار گرفته‌اند. در ماه دسامبر میزان بارش و شکل توزیع بارندگی مانند ماه نوامبر است. با این تفاوت که محل تمرکز بارش در این ماه در نواحی جنوب غرب ایران قرار دارد که شامل استانهای کهکلوپه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، و

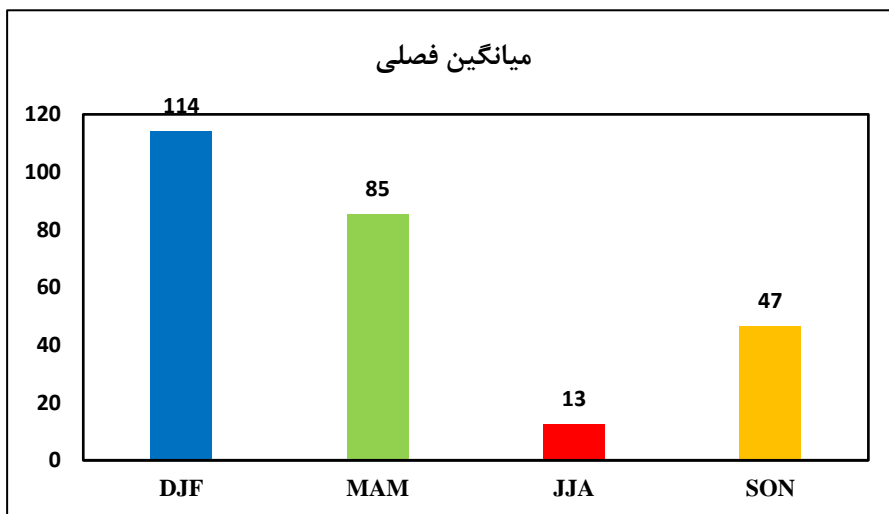
شکل ۴: توزیع مکانی بارش شش ماه دوم در ایران طی دوره آماری (۲۰۱۹-۲۰۲۰)



۱۱۴ میلی‌متر، بیشترین مقدار بارش را به خود اختصاص داده است. پس از فصل زمستان، فصل بهار (MAM) با میانگین ۸۵ میلی‌متر، فصل پاییز (SON) ۴۷ میلی‌متر و در نهایت فصل تابستان (JJA) با ۱۳ میلی‌متر بارش، به ترتیب در اولویت های بعدی قرار گرفته اند. بر همین اساس، فصل زمستان ۴۴ درصد، فصل بهار ۳۳ درصد، فصل پاییز ۱۸ درصد و فصل تابستان ۵ درصد از میانگین بارش کل کشور را به خود اختصاص داده‌اند.

توزیع مکانی بارش فصلی

شکل شماره ۵ میانگین فصلی بارش ایران طی دوره ی آماری ۲۰۱۹ - ۲۰۰۱ را نشان می دهد. در این بخش حروف (DJF) بیانگر ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه، (MAM) بیانگر ماههای مارس، آوریل و می، (SON) در برگزیده ماههای سپتامبر، اکتبر، نوامبر و (JJA) نیز بیانگر ماههای ژوئن، ژولای و آگوست می باشد. بر اساس شکل مربوطه، فصل زمستان (DJF) با مقدار



شکل ۵: میانگین فصلی بارش در ایران طی دوره ی آماری (۲۰۱۹ - ۲۰۰۱)

مقدار بارش فصل زمستان (DJF) در ایران به حداکثر مقدار خود رسیده است، به گونه‌ای که تقریباً در تمام ایران

توزیع فضایی میانگین بارش فصول چهارگانه ایران در شکل شماره ۶ آمده است. باتوجه به نقشه های مربوطه،

بارندگی وجود دارد. تنها ناحیه‌ای در جنوب شرق ایران بارشی کمتر از ۵۰ میلی‌متر دارد که شامل برخی از قسمت‌های استان‌های خراسان جنوبی، کرمان، سیستان و بلوچستان و همچنین مرکز استان سمنان می‌باشد. تمام استان‌ها و مناطق شمالی، شمال غرب، جنوب غرب و شمال شرق ایران دارای بارندگی هستند. اما بیشترین تمرکز بارش در شرق استان کهکلوپه و بویراحمد و همچنین شمال شرق خوزستان می‌باشد که بارشی بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر دارد. علت افزایش بارش‌ها در این فصل و در این مناطق سیکلون‌های مدیترانه‌ای می‌باشد. به عبارتی در این فصل مناطق ذکر شده در مسیر اصلی ورود سیکلون‌های مدیترانه‌ای قرار دارند. دریای مدیترانه در مسیر بادهای غربی قرار دارد و اثرات آن از طریق این بادهای غربی به ایران گسترش می‌یابد. در دوره‌ی سرد سال بر اثر استقرار فرود بلند مدیترانه، تمام سیستم‌های فشار اعم از موج‌های سطح بالا و سیکلون‌های روی زمین به طرف ایران می‌آیند. در این فصل جبهه قطبی بر ساحل شمالی دریای مدیترانه مستقر می‌شود و در تشکیل سیکلون‌ها شرکت

می‌کند، عامل صعود بارندگی‌های دوره‌ی سرد سال به وسیله‌ی سیستم‌های مهاجر دریای مدیترانه تأمین می‌شود (علیجانی، ۱۳۹۲). در فصل بهار (MAM) نحوه‌ی پراکندگی بارش همانند فصل زمستان (DJF) بوده اما از مقدار بارندگی کاسته شده است به گونه‌ای که نواحی مرکزی و جنوب شرقی ایران بارشی کمتر از ۵۰ میلی‌متر دریافت کرده‌اند. تمرکز بارش به مناطقی از استان‌های لرستان، کرمانشاه و کردستان (بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر) مربوط می‌شود. میانگین مکانی بارش بهاره ایران ۸۵ میلی‌متر است که معادل ۳۳ درصد بارش سالانه است. ضریب تغییرپذیری مکانی بارش بهاره همانند زمستان کم است. در این فصل بادهای غربی به تدریج از ایران خارج می‌شوند. این فرایند ابتدا از جنوب آغاز می‌شود و بدین جهت است که مقدار بارندگی بهاره جنوب کمتر است. از طرف دیگر در فصل بهار اتمسفر هنوز سرد است. هرچایی که سطح زمین بیشتر گرم شود صعود همرفتی صورت می‌گیرد. هسته‌ی بیشینه بارش بهاره برعکس فصول دیگر سال در ناحیه‌ی آذربایجان و زاگرس مرکزی قرار دارد.

خزر) قرار دارد و با حرکت به سمت شرق (گرگان و کنبد کاووس) از مقدار بارندگی بهاره کاسته می شود.

در فصل تابستان (JJA) تقریباً تمام ایران از بارش بسیار اندکی (بین ۰ تا ۵۰ میلی متر) برخوردار می باشد و تنها نوار باریکی از نواحی شمال و شمال غرب ایران دارای بارش می باشد که بیشترین بارش در این ماه (بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی متر) در سواحل دریای خزر است که از انزلی تا گرگان اتفاق می افتد. هسته‌ی بارش سواحل خزر تا قوچان به طرف مشرق ادامه می یابد. اما در قسمت‌های دیگر به وسیله کوه‌های البرز محدود شده است. در بیرون از منطقه ساحل خزر هیچ هسته‌ی پربارش دیگری مشاهده نشده است. بدین مفهوم که در بقیه نقاط کشور بارندگی تابستانه کمتر از ۵ میلی متر و یا اینکه اصلاً وجود ندارد. در واقع فصل تابستان در همه جای ایران، به استثنای شمال کشور در بالای مدار ۳۶ درجه شمالی، فصلی کاملاً خشک است. همان طور که قبلاً توضیح داده شده است، علت اصلی این وضعیت استقرار مداوم پرفشار جنب حاره‌ای آזור بر بالای ایران در فصل تابستان است که

مقدار بارندگی بهاره در برخی از نواحی این پهنه به ۳۰۰ میلی متر نیز می رسد که بیش از ۵۰ درصد بارش سالانه آن است. هسته پرباران آذربایجان از یک طرف به سمت شرق تا جنوب دریای خزر و از طرف دیگر به طرف جنوب تا کهگلویه و بویراحمد نیز گسترده شده است (شکل ۶). دلیل افزایش بارش ناحیه‌ی آذربایجان در مقایسه با بارندگی زاگرس مرکزی عقب نشینی بادهای غربی به طرف شمال است که در نتیجه آن زاگرس تا اندازه ای از ورود عوامل صعود و رطوبت فراوان محروم شده است. اما افزایش بارندگی آذربایجان نسبت به فصول دیگر به جهت وجود بادهای غربی و امکان ورود رطوبت دریای مدیترانه است. از همه مهم تر فراهم شدن شرایط همرفت دامنه‌ای است که بر اثر تابش عمودی آفتاب بر دامنه‌ها و گرم تر شدن هوای آن منطقه نسبت به اتمسفر مجاور حاصل می شود. در اکثر نقاط آذربایجان باران‌های فراوان بهاری به باران‌های نisan موسوم است. هسته پرباران بهاری نسبت به پاییز و زمستان بسیار محدود شده است. در ساحل دریای خزر نیز محل بیشینه بارندگی در اطراف آستارا (غرب دریای

مانع هرگونه حرکت هوا است. اما چون استقرار این مرکز پرفشار در شمال ایران مداوم و شدید نیست در نتیجه گاهی مواقع بادهای غربی رطوبت دریای مدیترانه را به منطقه می‌آورند و با همراهی صعود همرفتی سبب ریزش‌های تابستانه می‌شوند. رطوبت سواحل دریای خزر از طریق نسیم دریا تأمین می‌شود و بر اثر گرمایش جلگه‌ی ساحلی و ناپایداری حاصل از بادهای غربی سطح بالا بارندگی ایجاد می‌شود. در سواحل جنوبی کشور علی‌رغم وجود بخار آب فراوان، پایین بودن کف پرفشار جنب حاره‌ای هوای مرطوب فرصت صعود پیدا نمی‌کند. کف این پرفشار معمولاً در جلگه‌ی خوزستان به زمین نزدیک است، ولی در شرق ایران نسبتاً از سطح دریا فاصله دارد و بعضی مواقع هم به جهت پیشروی رژیم موسمی بالاتر می‌رود و فرصت می‌دهد که هوای مرطوب موسمی صعود کرده ایجاد باران نماید.

در فصل پاییز (SON) بارش‌ها دوباره شدت گرفته و تمام استان‌های شمالی، غربی، شمال غربی و جنوب غربی ایران را فرا گرفته است. بیشترین بارش‌ها در سواحل دریای خزر وجود

دارد که تمرکز بارش در ناحیه‌ی ساحلی دریای خزر (خصوصاً غرب دریای خزر از انزلی تا آستارا) می‌باشد که بارشی بین ۴۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر دارد. استان‌های جنوبی، شرقی، شمال شرقی و نواحی مرکزی ایران بارشی کمتر از ۵۰ میلی‌متر دارند. بالا بودن میزان بارش در سواحل دریای خزر در این فصل همرفت وزشی می‌باشد.

فصل پاییز آغاز دوره‌ی نفوذ بادهای غربی بر محدوده‌ی ایران است. به تدریج که هوای نیمکره‌ی شمالی سرد می‌شود مرکز پرفشار جنب حاره‌ای به طرف جنوب عقب نشینی می‌کند و جای خود را به بادهای غربی می‌دهد. بادهای غربی ابتدا از آذربایجان وارد می‌شوند و به تدریج تا اواخر پاییز همه جای ایران را فرا می‌گیرند. این بادهای ناپایداری و رطوبت می‌آورند. بنابراین انتظار می‌رود که بارندگی‌های دوره‌ی سرد سال ابتدا از آذربایجان شروع شود و مقدار بارندگی پاییز در شمال کشور بیشتر از جنوب باشد. از طرف دیگر بر اثر گسترش فرابار سیبری بادهای سرد سیبری به طرف جنوب گسترش یافته و به خراسان و دریای خزر نفوذ می‌کنند. پراکنندگی مکانی بارندگی فصل پاییز در شکل

تا رسیدن به انزلی ناپایدار و مرطوب شده و ایجاد بارندگی می‌کنند. این هوای مرطوب بیشتر رطوبت خود را در انزلی می‌ریزد و سپس به طرف جنوب یا مغرب می‌رود و بارش‌های رشت را سبب می‌گردد. به طرف گرگان و آستارا به جهت کم شدن فراوانی وزش و کوتاه شدن مسیر از شدت بارندگی کاسته می‌شود. در بیرون از منطقه‌ی خزر، هسته‌ی بیشینه بارش فصلی در دامنه‌ی بادگیر کوه‌های زاگرس (از کردستان تا چهارمحال بختیاری) قرار دارد. در این فصل از سال ناحیه‌ی آذربایجان از بارش کمتری نسبت به زاگرس برخوردار است. یکی از دلایلی که سبب کاهش بارندگی آذربایجان می‌شود نفوذ توده‌های هوای سرد و از منطقه‌ی قفقاز است این توده‌های هوا گنجایش بخار آب کمتری دارد و باران کم تولید می‌کنند. در صورتی که دامنه‌های غربی زاگرس اغلب از توده‌های متعادل و مرطوب مدیترانه و رطوبت خلیج فارس بهرمنند می‌شوند. مسیرهای سیکلونی کشور هم عمدتاً از منطقه‌ی زاگرس مرکزی عبور می‌کنند. آذربایجان فقط می‌تواند از سیکلون‌های مدیترانه باران بگیرد در صورتی که در زاگرس کم فشارهای

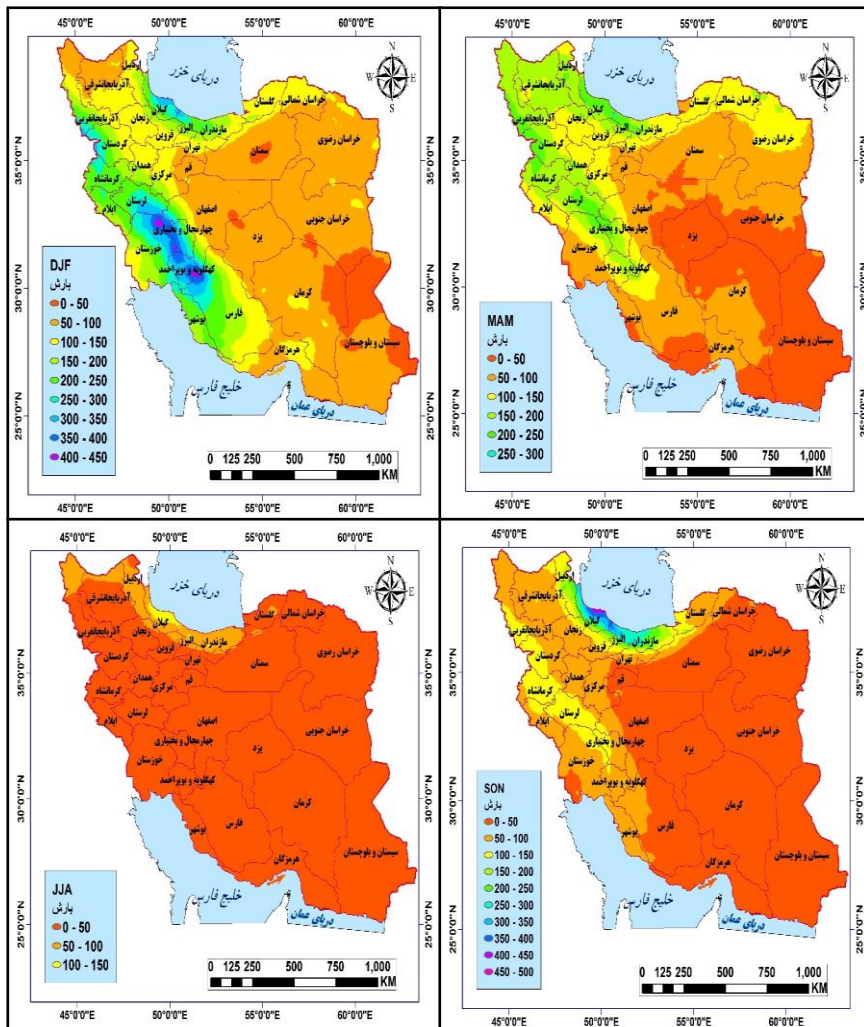
شماره ۶ ترسیم شده است. طبق شکل شماره ۵، میانگین مکانی بارندگی فصل پاییز ۴۷ میلی‌متر و سهم بارش‌های پاییز از کل سال ۱۸/۲ درصد است. نایکنواختی مکانی بالای بارندگی پاییز باتوجه به فصل واسطه بودن آن قابل توجه است، در حالی که در شمال کشور بادهای غربی و بادهای سرد سیبری بسیار فعال هستند، جنوب کشور تقریباً از اواسط پاییز زیر نفوذ بادهای غربی قرار می‌گیرد. در نتیجه مقدار بارندگی در شمال بیشتر از جنوب است.

پراکندگی مکانی بارش فصل پاییز و در مجموع دوره‌ی سرد سال به پراکندگی مکانی بارندگی سالانه شباهت دارد. بیشترین بارندگی فصلی کشور در ساحل جنوب غربی دریای خزر می‌بارد که مقدار آن به تدریج به اطراف کاهش پیدا می‌کند. همانند الگوی بارش سالانه، در این فصل نیز بیشینه‌ی بارندگی در غرب دریا در خط ساحلی قرار دارد در صورتی که در شرق دریا در روی خشکی قرار دارد. همانطور که قبلاً اشاره شده است، بادهای سرد سیبری از روی دریای نسبتاً گرم عبور می‌کنند و به علت طولانی بودن مسیر

کمترین میزان بارندگی در نیمه ی شرقی ایران و در گستره ی وسیعی با بیش از نیمی از وسعت کشور اتفاق افتاده است.

سودانی نیز رگبارهای شدید را ایجاد می کنند (عساکره و همکاران، ۱۴۰۰).
 البته ارتفاعات زاگرس جلوی هوای مرطوب را سد می کند و سبب می شود که بیشتر رطوبت آن ها در دامنه ی بادپناه زاگرس تخلیه شود. در این فصل

شکل ۶: توزیع مکانی فصلی بارش در ایران طی دوره ی آماری (۲۰۱۹-۲۰۰۱)



توزیع مکانی بارش سالانه

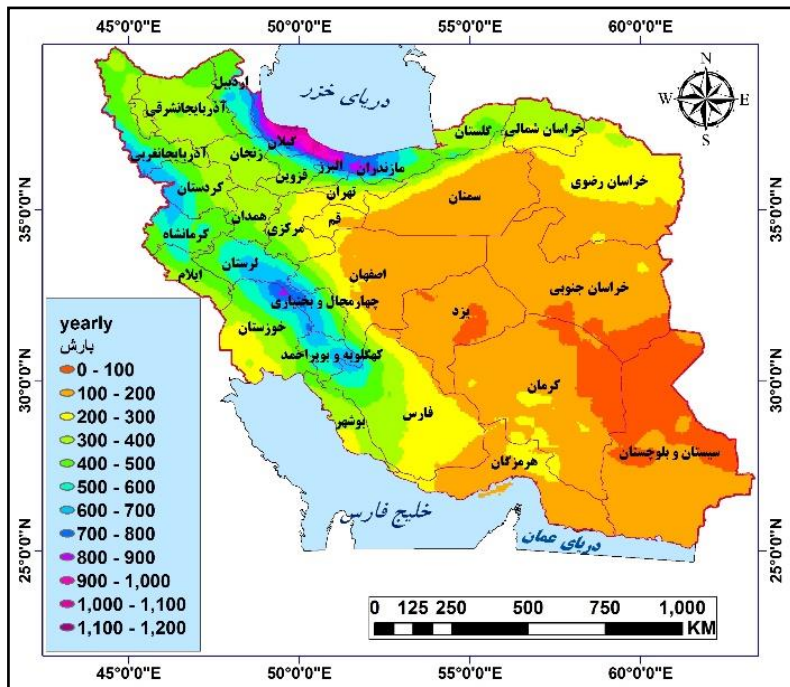
توزیع مکانی میانگین بارش سالانه‌ی ایران طی دوره ی آماری ۲۰۱۹ - ۲۰۰۱ که با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ی GPM برآورد شده است در شکل شماره ۷ آمده است. باتوجه به این نقشه، توزیع بارش در گستره‌ی جغرافیایی کشور ایران همگن نیست. در این میان بیشترین میزان بارش در سواحل دریای خزر و برخی از استان‌های واقع در غرب و جنوب‌غرب ایران مانند چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، کرمانشاه و کردستان می‌باشد. تمرکز اصلی هسته‌ی بارش در ناحیه‌ی ساحلی شمال ایران (۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر) قرار دارد. در مقابل استان‌های جنوبی، جنوب شرقی، شرقی و نواحی مرکزی از بارش اندکی (بین ۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر) برخوردار هستند. میانگین سالانه‌ی بارش ایران نزدیک به ۲۶۰ میلی‌متر (۲۵۹ میلی‌متر است) اما همین میزان اندک نیز از توزیع همگنی برخوردار نبوده به طوری که بارش دریافتی مناطق مرکزی و شرق ایران از ۵۰ میلی‌متر هم کمتر است. در عوض در برخی نقاط کرانه‌های غربی خزر بارش سالانه حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر

است. منحنی هم‌بارش ۲۰۰ میلی‌متر تقریباً مرز میان مناطق کم‌بارش و پر‌بارش ایران را تشکیل می‌دهد. چون بیش از ۶۰ درصد مساحت کشور کمتر از این مقدار بارش دریافت می‌کند. از جهتی دیگر تنها بارش ۴ درصد کشور بیش از ۶۰۰ میلی‌متر است. این شرایط به خوبی بیانگر توزیع نابرابر بارش در گستره‌ی جغرافیایی ایران زمین است. استقرار یک هسته‌ی پر‌بارش منطبق بر ارتفاعات زاگرس به خوبی نقش مثبت ناهمواری‌های زاگرس بر سامانه‌های غربی و جنوب غربی را در افزایش میزان بارش نشان می‌دهد. زیرا که ارتفاعات زاگرس با مهیایی عامل صعود شرایط را برای دریافت هرچه بیشتر بارش از سامانه‌های غربی مهیا می‌نماید. توجه به مقادیر بیشتر بارش بر روی دامنه‌های غربی زاگرس و کاهش آن بر روی دامنه‌های شرقی به خوبی روشن می‌سازد که سامانه‌های بارانزای غربی ناچار به صعود از زاگرس شده و فرایند کوه‌بارش نیز نقش مهمی را در این بخش کشور بازی می‌کند.

در کرانه‌های خزر به ویژه در بخش‌های غربی، فاصله از دریا نقش تعیین‌کننده‌تری در بارش دارد. در

از سامانه‌های بارش عبوری ندارند. بنابراین توزیع مکانی بارش در نواحی مختلف ایران تحت تأثیر عوامل متفاوتی است و حتی در یک ناحیه‌ی معین مثلاً در زاگرس که ارتباط خوبی میان بارش و ارتفاع وجود دارد مدل بارش - ارتفاع روی دامنه‌های غربی و شرقی با یکدیگر متفاوت است (مسعودیان، ۱۳۹۰).

اینجا بادهای بسیار سرد و خشک شمالی با گذر از آب‌های گرم خزر با کسب رطوبت و گرما ناپایدار شده و صعود می‌کنند. با دور شدن از ساحل خزر، بارش به سرعت کاهش می‌یابند (عساکره، ۱۳۸۶). در ایران مرکزی که کوه‌های پراکنده توانایی لازم را در ایجاد مانع عمده‌ای در برابر جریان هوا ندارند بنابراین نقش چندانی در کسب رطوبت



شکل ۷: توزیع مکانی بارش سالانه در ایران طی دوره‌ی آماری (۲۰۱۹-۲۰۰۱)

جمله مدیریت صحیح منابع آب، برآورد حداکثر بارش محتمل و تخصیص الگوی مناسب کشت، از اهمیت زیادی

نتیجه‌گیری

اطلاعات مربوط به توزیع بارش با توجه به کاربردهای گوناگون هیدرولوژیکی از

دارد. به طوری که، مقایسه درصد بارندگی در ماه‌های مختلف سال حاکی از تفاوت معنادار توزیع ماهانه ی بارش در گستره ی ایران است. همچنین نتایج حاصله نشان داد که توزیع مکانی بارش ایران همگن نیست و از الگوی واحدی تبعیت نمی‌کند و مقدار بارش‌های ایران طی دوره مورد مطالعه در ماه‌های مختلف سال دارای تغییرات و نوسانات زیادی بوده‌اند. به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار بارش در ماه‌های مربوط به فصل زمستان و بعد از آن در فصل بهار (مارس، آوریل و می) و کمترین مقدار آن در ماه‌های مربوط به دوره‌ی گرم سال (ژوئن ژولای و آگوست) برآورد گردید. دوره‌ی سرد سال در ایران به‌دلیل فراهم بودن شرایط جوی از جمله نفوذ و عبور توده‌های باران‌زای غربی از میزان بارش بیشتری برخوردار است. در دوره‌ی گرم سال با عقب نشینی توده‌های هوا به سمت نواحی شمالی و نفوذ پرفشار دینامیکی جنب حاره بر روی ایران علیرغم فراهم بودن رطوبت از میزان بارش به شکل قابل ملاحظه‌ای کاسته شده است.

توزیع فصلی بارش نیز حاکی از تفاوت‌های معنادار آن در گستره‌ی

برخوردار است. با توجه به تغییرات زیاد مکانی و زمانی بارش، برآورد مقدار این متغیر در مکان‌های فاقد ایستگاه اندازه‌گیری، به ویژه در مناطق کوهستانی و در زمانی که شبکه ایستگاهها پراکنده باشند، امری دشوار می‌نماید (بیات و همکاران، ۱۳۹۰). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند کمک موثری در برآورد داده‌های بارشی به ویژه در مناطقی که با کمبود داده و اطلاعات مواجه هست باشد. همچنین در زمینه شناخت آرایش و نحوه توزیع الگوهای بارشی در زمان‌های متفاوت این روش از اهمیت دوچندانی برخوردار است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بارش ماهواره‌ی GPM و با بکارگیری تحلیل‌های آماری و روش‌های زمین آماری از جمله روش وزن دهی معکوس فاصله به بررسی توزیع زمانی - مکانی مقادیر میانگین بارش در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه طی دوره آماری ۲۰۱۹ - ۲۰۰۱ در گستره‌ی جغرافیایی کشور ایران پرداخته شده است. با بررسی یافته‌ها می‌توان اشاره نمود که تغییرات و نوسانات قابل توجهی هم به لحاظ زمانی و هم به لحاظ مکانی در ایران وجود

جغرافیایی کشور ایران است. به لحاظ فصلی بیشترین میزان بارش در فصل زمستان (۱۱۴ میلی متر) اتفاق افتاده است. پس از فصل زمستان، بهار (۸۴ میلی متر)، پاییز (۴۷ میلی متر) و تابستان از ۱۳ میلی متر بارش برخوردار بودند. به عبارتی دیگر می توان گفت؛ فصل زمستان ۴۴ درصد، فصل بهار ۳۳ درصد، فصل پاییز ۱۸ درصد و فصل تابستان ۵ درصد از میانگین بارش کل کشور را به خود اختصاص داده اند.

یافته های حاصل از نقشه های توزیع مکانی بارش فصلی؛ بیانگر بیشینه ی بارش فصلی ایران در فصل زمستان (DJF) است. در این فصل بارش در ایران تقریباً به حداکثر خود رسیده و تقریباً در تمام ایران بارندگی وجود دارد. تنها ناحیه ای در جنوب شرق ایران بارشی کمتر از ۵۰ میلی متر دارد. بیشترین تمرکز بارش در شرق استان کهکلوپه و بویراحمد و همچنین شمال شرق خوزستان می باشد که بارشی بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی متر دارد. علت افزایش بارش ها در این فصل و در این مناطق سیکلون های مدیترانه ای می باشد. در فصل بهار (MAM) نحوه ی پراکندگی بارش همانند فصل زمستان (DJF)

بوده است. اما تاحدودی از مقدار بارندگی کاسته شده است به گونه ای که نواحی مرکزی و جنوب شرقی ایران بارشی کمتر از ۵۰ میلی متر دارند و تمرکز بارش به مناطقی از استان های لرستان، کرمانشاه و کردستان (بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی متر) مربوط می شود. نکته ی قابل توجه در این فصل، فراهم شدن شرایط همرفت دامنه ای است که بر اثر تابش عمودی آفتاب بر دامنه ها و گرم تر شدن هوای آن منطقه نسبت به اتمسفر مجاور حاصل شده و در اکثر نقاط آذربایجان باران های فراوان بهاری به باران های نیشان را سبب می شود. در فصل تابستان (JJA) تقریباً تمام ایران از بارش بسیار اندکی (بین ۰ تا ۵۰ میلی متر) برخوردار می باشد و تنها نوار باریکی از نواحی شمال و شمال غرب ایران دارای بارش می باشد که بیشترین بارش در این ماه (بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی متر) در سواحل دریای خزر است که از انزلی تا گرگان اتفاق می افتد. در فصل پاییز (SON) بارش ها دوباره شدت گرفته و تمام استان های شمالی، غربی، شمال غربی و جنوب غربی ایران را فرا گرفته است. بیشترین بارش ها در سواحل دریای خزر وجود دارد که تمرکز

بارش در ناحیه ی ساحلی دریای خزر (خصوصاً غرب دریای خزر از انزلی تا آستارا) می باشد که بارشی بین ۴۵۰ تا ۵۰۰ میلی متر دارد. استان های جنوبی، شرقی، شمال شرقی و نواحی مرکزی ایران بارشی کمتر از ۵۰ میلی متر دارند. بالا بودن مقدار بارش در سواحل دریای خزر در این فصل همرفت وزشی می باشد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه / رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه / رساله نبوده است.

منابع

- احمدی، محمود؛ نارنگی فرد، مهدی. (۱۳۹۱). ارزیابی پهنه‌های بارشی با استفاده داده‌های ماهواره TRMM در استان فارس. پژوهش‌های دانش زمین، سال سوم، شماره ۱۱، صفحات ۲۸-۴۴.
- اردونی، معصومه؛ معماریان، هادی؛ اکبری، مرتضی؛ پورضابیلندی، محسن. (۱۳۹۶). کاربرد داده‌های جهانی بارش (GPM) در مدیریت مخاطرات محیطی و آینده پژوهی منابع زمین. همایش آینده پژوهی در حوزه منابع طبیعی و محیط زیست خراسان جنوبی، دانشگاه بیرجند، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست.
- امیدوار، کمال. (۱۳۸۶). بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه‌ی شیرکوه یزد. مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۹. صص ۸۱ تا ۹۸.
- بی‌همتا، آرش؛ گهرنژاد، حمید؛ معظمی، صابر. (۱۳۹۷). بررسی داده‌های بارش ماهواره‌های GPM و TRMM در مقیاس‌های روزانه، ماهیانه و فصلی در شهر تهران.
- سنجش از دور و GIS ایران، سال دهم، شماره دوم، صفحات ۴۵-۶۰.
- تقی‌زاده، احسان؛ احمدی گیوی، فرهنگ. (۱۳۹۷). ارزیابی محصولات بارش GPM و تصویب‌ررداری رطوبت خاک با استفاده از داده‌های SMAP در شمال غرب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۲، شماره ۳، صفحه ۷۰-۸۶.
- جداری عیوضی، جمشید. (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی ایران، چاپ دوازدهم، انتشارات پیام نور، تهران.
- دوستکامیان، مهدی؛ شیرینی کریم‌وندی، امین. (۱۳۹۸). بررسی و تحلیل هم‌دید دینامیکی سازکارهای بارش فراگیر زمستانه ایران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۵، صص ۳۷-۵۵.
- حاجی میررحیمی، سید محمود؛ فیضی زاده، بختیار؛ (۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش. همایش ژئوماتیک ۸۷، تهران.
- زمردیان، مرضیه؛ وظیفه دوست، مجید؛ اسمعیلی‌ورکی، مهدی. (۱۳۹۶). معرفی ماهواره‌ی GPM به عنوان روشی نوین برای استحصال آب

- باران و ارزیابی صحت داده‌های آن. ششمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر بارن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی شهر.
- شریفی، احسان؛ ثقفیان، بهرام؛ اشتایناکر، راین هلد. (۱۳۹۵). بررسی کارایی جدیدترین نسل محصولات بارش ماهواره‌های با وضوح زمانی- مکانی بالا. ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران.
- عساکره، حسین؛ ورناصری قندعلی، نسرين. (۱۳۹۹). تغییرات دهه‌ای میانگین بارش ماه‌های فصل سرد در ناحیه خزری طی نیم سده اخیر، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۴۲، صص ۴۶ - ۳۱.
- علی بخشی، سیده مریم؛ فرید حسینی، علیرضا؛ داوری، کامران؛ علیزاده، امین؛ مونیکا، هنری. (۱۳۹۷). ارزیابی داده‌های بارش زمینی، ماهواره GPM و MERRA (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف رود). پژوهش نامه مدیریت حوزه آبخیز، سال نهم، شماره ۱۸.
- علیجانی، بهلول. (۱۳۹۲). آب و هوای ایران. چاپ دوازدهم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- متکان، علی اکبر؛ شکیبا، علیرضا؛ عاشورلو، داوود؛ بداغ جمالی، جواد؛ محمدیان، وهب. (۱۳۸۸). قابلیت داده‌های ترکیبی مادون قرمز و ماکروویو غیرفعال سنجش از دور و تخمین بارندگی و پایش سیلاب. نشریه‌ی سنجش از دور و GIS ایران دوره ۱، شماره ۲.
- مددی، غزاله؛ حمزه، سعید؛ نوروزی، علی اکبر. (۱۳۹۴). ارزیابی بارش در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوزه مرزی غرب یا ران). سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ششم، شماره دوم.
- دوره ۶۹، شماره ۴.

- Evaluation of PERSIANN-CCS rainfall measurement using the NAME event rain gauge network. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 469-482.
- Hou AY, Kakar RK, Neeck S, Azarbarzin AA, Kummerow CD, Kojima M, Oki R, Nakamura K, Iguchi T. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701-22.
 - Huffman GJ, Bolvin DT, Nelkin EJ. Day 1 IMERG final run release notes. (2015). NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center: Greenbelt, MD, USA.
 - Li G, Yu Z, Wang W, Ju Q, Chen X. (2021). Analysis of the spatial Distribution of precipitation and topography with GPM data in the Tibetan Plateau. *Atmospheric Research*, 247, 105259.
 - Moffitt, C. B., Hossain, F., Adler, R. F., Yilmaz, K. K., & Pierce, H. F. (2011). Validation of a TRMM-based global Flood Detection System in مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس مشهد.
 - Allen, R. G., Morse, A., & Tasumi, M. (2003, September). Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. In Proc. ICID Int. Workshop on Remote Sensing.
 - Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmospheric Research*, 99(3-4), 400-414.
 - French, A. N., Hunsaker, D. J., & Thorp, K. R. (2015). Remote sensing of evapotranspiration over cotton using the TSEB and METRIC energy balance models. *Remote Sensing of Environment*, 158, 281-294.
 - Hattis, D., Ogneva-Himmelberger, Y., & Ratick, S. (2012). The spatial variability of heat-related mortality in Massachusetts. *Applied Geography*, 33, 45-52.
 - Hong, Y., Gochis, D., Cheng, J. T., Hsu, K. L., & Sorooshian, S. (2007).

- (2016). Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. *Journal of hydrology*, 533, 152-167.
- Tekeli, A. E., & Fouli, H. (2016). Evaluation of TRMM satellite-based precipitation indexes for flood forecasting over Riyadh City, Saudi Arabia. *Journal of Hydrology*, 541, 471-479.
 - Wang Z, Zhong R, Lai C, Chen J. (2017). Evaluation of the GPM IMERG satellite-based precipitation products and the hydrological utility. *Atmospheric Research*, 196: 151-63.
 - Wang, Z., Zhong, R., Lai, C. H. & Chen, J., 2017, Evaluation of the GPM IMERG Satellite-Based Precipitation Products and the Hydrological Utility, *Atmospheric Research*, Vol. 196, PP.151-163.
 - Yong B, Liu D, Gourley JJ, Tian Y, Huffman GJ, Ren L, Hong Y. (2015). Global view of real-time TRMM multisatellite precipitation analysis: Implications for its Bangladesh. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(2), 165-177.
 - Prakash, s., Mitra, A. K., Pai, D. s., & AghaKouchak, A. 2016. From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space?. *Advances in Water Resources*, 88, 1-7.
 - Sharifi E, Steinacker R, Saghafian B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing*. 8(2), 135.
 - Tang G, Clark MP, Papalexioiu SM, Ma Z, 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*. 1; 240: 111697.
 - Tang, G., Ma, Y., Long, D., Zhong, L., & Hong, Y.

successor global
precipitation measurement
mission. Bulletin of the
American Meteorological
Society, 96(2): 283-96.

- Yuan F, Wang B, Shi C, Cui W, Zhao C, Liu Y, Ren L, Zhang L, Zhu Y, Chen T, 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, 1; 567: 696-711.