

*Research Article***Evaluation the performance of ERA5 reanalysis data in Iran's rainfall estimation and spatial analysis of the country's precipitation regime**Susan Heidari¹, Mostafa Karimi¹, Azar Beyranvand*¹

1-Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University Tehran Tehran, Iran

Received: 14 Aug 2023 Accepted: 31 Jan 2024

Extended Abstract**Introduction**

Precipitation is one of the most important climatic elements that can be effective in determining the role and distribution of other climatic variables. This variable is the most unstable climatic variable in the temporal and spatial scale. The American Meteorological Society defines the characteristics of the seasonal distribution of precipitation in a particular place as a precipitation regime. The aim of this study is to evaluate the monthly rainfall data of ERA5 database compared to the rainfall measured in the synoptic stations of the country. Then, the spatial distribution of the rainfall regime and its coefficient of variation and skewness are analyzed in order to identify Iran's rainfall behavior in annual, seasonal and monthly time scales.

Materials and Methods

In the present study, the reanalyzed gridded precipitation data (ERA5) with a resolution of 0.25 x 0.25 was used from the years 1979 to 2021. According to the findings of Hassler and Lauer (2011), ERA5 data has made a clear improvement compared to ERA-Interim data and has shown small biases compared to other reanalysis data. To evaluate the monthly data of this database compared to the monthly rainfall data in synoptic stations of the country, the correlation coefficient, Normalized Root Mean Square Error (NRMSE), the Wilmot agreement index and the standardized Bias index were used.

Results and Discussion

The correlation coefficient showed that using the estimated precipitation of this database in rainy months has high reliability. Indicators NRMSE and Wilmot's agreement show the high efficiency of this database. Standard BIAS showed that the most underestimation of this database was in the months of August to October and July, respectively. Rainfall begins in September and lasts until May in Iran. The monthly rainfall time series shows the irregular behavior of rainfall in each month. Most regions of the country receive their highest percentage of precipitation in winter and spring.

Citation: Heidari, S. et al, 2024. Evaluation the performance of ERA5 Reanalysis Data in Iran's rainfall, *Res. Earth. Sci.* 15(2), (1-24) DOI: 10.48308/esrj.2024.104225

* Corresponding author E-mail address: beyranvandazar@ut.ac.ir





The rainiest and least rainy seasons of Iran are winter and summer, respectively. Also, the 42-year time series analysis of Iran's rainfall clarified the fluctuations of rainfall in the country in different years.

The coefficient of monthly changes in precipitation is indicative of the intensity of month-to-month changes in precipitation. This index can provide a relative pattern of rainfall variability. In fact, the map of the coefficient of monthly changes in precipitation is reminiscent of extreme fluctuations in monthly precipitation; So that the range of monthly rainfall changes is less than 20% from December to March in the northwest, north and west of the country and reaches more than 450% in July to September in the south and southeast.

Most regions of the country receive their highest percentage of precipitation in winter and spring. The rainiest and least rainy seasons of Iran are winter and summer, respectively. The most important advantage of winter rainfall is that it is scattered in all regions of the country. But summer rain can be seen only in the northern parts and sometimes parts of the east and southeast of the country.

In the autumn season, there is an increase of about 17.5 mm of precipitation in the studied period. But in other seasons, there is a decreasing trend, and the maximum of this negative trend is related to the winter season, which shows a decrease of 28 mm in rainfall. The above changes are statistically significant at the 99% confidence level. These changes show the shift of Iran's seasonal rainfall regime from winter and spring to autumn over time.


Conclusion

A similar rainfall pattern was seen between the two types of data in Iran. Rainfall begins from September and lasts until May. Peak of the average rainfall is received in the coastal areas of the Caspian Sea and then in the areas of the Zagros mountain. The share of winter precipitation in the country is 44.5% of the total precipitation of the year, in other words, the main regime of precipitation is mainly winter. The results to some extent indicate the gradual change of the country's rainfall regime. Because the precipitation of spring (8.2 mm decrease in 42 years) and winter (28.26 mm decrease in 42 years) in Iran has been reduced but autumn rainfall in Iran has been added.

Keywords: Data validation of ERA5, Comparative data analysis, Spatial Variability of Precipitation, Precipitation Trends.



ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران و واکاوی فضایی رژیم بارشی کشور

سوسن حیدری^۱، مصطفی کریمی^۱، آذر بیرانوند^{۱*} 

۱- گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

چکیده گسترده

مقدمه

بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی محسوب می‌شود که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر متغیرهای اقلیمی می‌تواند مؤثر باشد. این متغیر ناپایسته‌ترین متغیر اقلیمی در مقیاس زمانی و مکانی است. انجمن هواشناسی آمریکا خصایص توزیع فصلی بارش در یک مکان خاص را رژیم بارش تعریف می‌کند. هدف این مطالعه ارزیابی داده‌های بارش ماهانه پایگاه داده ERA5 نسبت به بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدید کشور است. سپس توزیع فضایی رژیم بارش و آماره‌های ضریب تغییرات و چولگی آن به منظور شناسایی رفتار بارش ایران در مقیاس زمانی سالانه، فصلی و نیز ماهانه مورد واکاوی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از داده بارش شبکه‌ای پایگاه داده ERA5 با قدرت تفکیک 0.25×0.25 در سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۲۱ برای پهنه ایران استفاده شده است. برای ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل بارش ماهانه ERA5 نسبت به داده‌های بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدید کشور، ۴ آماره شاخص ضریب همبستگی (Correlation Coefficient)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت و شاخص ارزیابی استاندارد شده (Standard BIAS) به کار گرفته شد.

نتایج و بحث

ضریب همبستگی نشان داد که استفاده از بارش برآوردی این پایگاه در ماه‌های بارشی قابلیت اعتماد بالایی دارد. شاخص ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) نیز کمترین میزان (توافق عالی بین داده‌ها) را داشته است. همچنین شاخص توافق ویلموت در ماه‌های اکتبر تا آوریل کارایی بالایی این پایگاه را در برآورد بارش ماهانه اغلب ایستگاه‌های همدید مورد بررسی نشان می‌دهد. بررسی شاخص ارزیابی استاندارد نشان داد بیشترین کم برآوردی این پایگاه، به ترتیب در ماه‌های آگوست تا اکتبر و جولای بوده است. بارش با آغاز دوره سرد از در ایران از ماه سپتامبر شروع و می به طول می‌انجامد. سری زمانی بارش ماهانه بیان‌گر رفتار نامنظم بارش کشور در هر ماه می‌باشد. عمده مناطق کشور بیشترین درصد بارشی خود را در فصل زمستان و فصل بهار دریافت می‌کنند. پربارش‌ترین و کم‌بارش‌ترین فصل ایران به ترتیب زمستان و تابستان هستند. همچنین بررسی سری زمانی ۴۲ ساله بارش ایران نوسانات دریافت بارش در پهنه کشور در سال‌های مختلف را روشن نمود.

استناد: حیدری، س. و همکاران، ۱۴۰۳. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران، پژوهشهای دانش زمین:

DOI: 10.48308/esrj.2024.104225، (۱-۲۴)، (۲)، ۱۵

نتیجه گیری

مقایسه سری زمانی بارش ماهانه در پایگاه داده بازتحلیل ERA5 نسبت به بارش اندازه گیری شده ایستگاه های همدید، نشان از الگوی مشابه این نوع داده در طولانی مدت داشت. بارش با آغاز دوره سرد از سپتامبر در کشور شروع می شود و تا می به طول می انجامد، که اوج میانگین بارش در مناطق سواحل دریای خزر و سپس در نواحی رشته کوه های زاگرس دریافت می شود. سهم بارش زمستانه کشور ۴۴/۵ درصد کل بارش سال است، به عبارتی رژیم اصلی بارش عمدتاً زمستانه است. نتایج تا حدودی بیانگر تغییر تدریجی رژیم بارش کشور می باشد، چرا که از سهم بارش بهاره (۸/۲ میلی متر کاهش در ۴۲ سال) و زمستانه (۲۸/۲۶ میلی متر کاهش در ۴۲ سال) کشور کاسته شده و به سهم بارش پاییزه کشور اضافه گردیده است.

واژگان کلیدی: ارزیابی داده های ERA5، تحلیل مقایسه ای داده ها، تغییرپذیری مکانی بارش، روند تغییرات بارش.

مقدمه

افزایش فراوانی و شدت پدیده های حدی آب و هوایی (نظیر سیل و خشکسالی) در بسیاری از مناطق در سراسر جهان می شود (Zhao et al, 2021). علیجانی و همکاران (Alijanian et al, 2008) شدت و تراکم بارش های ایران را در دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۴ برای ۹۰ ایستگاه همدید سطح کشور مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه ایشان نشان می دهد که بارش روزانه در بیشتر نقاط ایران نامنظم و شدید است و سهم نامتناسب زیادی از بارش سالانه ناشی از تعداد کمی از رویدادهای با شدت بالا می باشد. تجزیه و تحلیل شدت بارش روزانه در این مطالعه نیز تأیید می کند که رویدادهای شدید به طور گسترده در سراسر کشور توزیع شده است و بیش از ۲۰ درصد از مساحت زمین در معرض خطر بارش شدید قرار دارد. حتی مرطوب ترین نقاط کشور در امتداد سواحل دریای خزر نیز مقدار قابل توجهی از بارش خود را از بارش های سنگین به دست می آورند. با توجه به آنچه ذکر شد از خصوصیات عمده رژیم بارش ایران نوسان های شدید و کوتاه بودن دوره بارش می باشد (Babaii Fini and Faragzadh, 2003)، بنابراین توجه به ویژگی های ذاتی این متغیر در ایران ضرورت دارد (Nasrabadi et al, 2014). بررسی مطالعات پیشین انجام شده در راستای این موضوع نشان داد که در مطالعات چند دهه گذشته کاویانی (Kaviani, 2008)، مسعودیان و عطایی (Masoudian and Ataei, 2002)،

بارش از مهم ترین عناصر اقلیمی محسوب می شود که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر متغیرهای اقلیمی می تواند مؤثر باشد (Asakereh, 2003). این متغیر ناپایسته ترین متغیر اقلیمی در مقیاس زمانی و مکانی است (Razmi, 2010). انجمن هواشناسی آمریکا خصایص توزیع فصلی بارش در یک مکان خاص را رژیم بارش تعریف می کند و در مطالعات داخلی نیز پراکندگی زمانی بارش بر حسب ماه ها یا فصل ها در یک مکان به عنوان رژیم بارش تعریف شده است (Asakereh and Razmi, 2014). آگاهی از رژیم بارش در اهداف مدیریتی حائز اهمیت است. به طوری که نمایش و تحلیل تغییرات مکانی رژیم بارش در سطح ملی می تواند به مدیریت کلان بخش های وابسته به این متغیر کلیدی از جمله تنظیم تقویم زراعی کمک شایان توجه نماید (Razmi, 2010). با توجه به اهمیت این موضوع در ارتباط با تغییرات زمانی و مکانی بارش در سطح بین المللی و ملی مطالعات گسترده ای تا به حال صورت گرفته است. به طور کلی مطالعات در سطح جهانی نوسان بارش در چند دهه ای اخیر را نشان می دهند (Trenberth, 2011) و در همین زمان متغیر بارش تنوع قابل توجه زمانی- مکانی را از سر گذرانده است (Kumar et al, 2010). براساس گزارش (IPCC AR6, 2021) تغییرات آب و هوایی باعث تغییرات زمانی و مکانی قابل توجهی در بارش می شود، که باعث

نواحی شرقی و جنوبی مقادیر بالاتری را داشته است. امروزه در تازه‌ترین مطالعات بارش در کشورهای توسعه‌یافته سعی در به کارگیری داده‌های دقیق و با تفکیک مکانی بالا برای بررسی این متغیر به چشم می‌آید (Ghebreyesus and Sharif, 2021). به کارگیری انواع مختلف داده در شناخت بهتر این متغیر و پدیده‌های وابسته به آن ضرورت قرن حاضر به شمار می‌رود که نیاز به آن بیش از همیشه احساس می‌شود. مطالعات خوبی در به کارگیری انواع داده‌های بارش شامل داده‌های اندازه‌گیری شده (داده‌های ایستگاهی، داده‌های میان‌بایی پایگاه داده اسفزاری، داده‌های^۲ APHRODITE،^۳ GPCC و ..)، داده‌های ترکیبی یا چندمنبعی (MSWEP،^۴ TRMM و ...) و داده‌های بازتحلیل (ERA-Interim, ERA5 و ...) در کشور انجام شده است. در بالا به نتایج مطالعات مبتنی بر داده‌های ایستگاهی اشاره گردید، در راستای بررسی بارش کشور بر پایه منابع داده‌ای شبکه‌ای و غیرایستگاهی در مقیاس کشوری می‌توان به مطالعات دارند و زندکریمی (Zandkrimi, 2016)، رضیئی و ستوده (Raziei and Sotoudehm, 2017) و ایزدی و همکاران (Izadi et al, 2021) و در مقیاس منطقه‌ای به مطالعات عرفانی و همکاران (Irfani et al, 2019)، گرجی‌زاده و همکاران (Gurjizadeh et al, 2019)، عزیزئی و همکاران (Azizi et al, 2020)، فلاح و همکاران (Fallah et al, 2020) و رضایی و همکاران (Rezaei et al, 2022) اشاره نمود. همچنین مطالعات قابل توجهی در زمینه ارزیابی انواع داده‌های بارشی برای بررسی بارش کشور صورت گرفته است که با توجه به نوع داده مورد بررسی، مقیاس زمانی مورد توجه و نیز پهنه در نظر گرفته شده در آن مطالعه، نتایج متفاوتی را به ارمغان آورده است. کالینز و همکاران (Collins et al, 2021) به دقت قابل قبول پایگاه داده بارش^۵ CRU در برآورد بارش ایران ادعان داشتند. فلاح و همکاران (Fallah et al, 2020) به کارایی برتر داده‌های GPCC در مقایسه با چندین پایگاه دیگر داده‌ای در حوضه کارون رسیدند. دارند و خاندو (Darand and Khandu, 2020) عملکرد خوب داده بارش^۶ CHIRPS و GPCC را پس از داده‌های اسفزاری و آفرودیت بیان داشتند. علیجانیان و همکاران (Alijanian et al, 2017) در بین چندین پایگاه داده بارش مبتنی بر داده ماهواره‌ای بهترین عملکرد را از آن MSWEP دانستند

انصاری بصیر (Ansari Basir, 2006) و مقبل و همکاران (Maqbal et al, 2011) در سطح کشور به بررسی رژیم بارش پرداخته‌اند. در مقیاس منطقه‌ای نیز رضیئی و عزیزئی (Raziei and Azizi, 2008, 2009)، عساکره و رزمی (Asakereh and Razmi, 2011, 2012) و عساکره و ورناصری (Asakereh and varnaseri ghandali, 2021) رژیم بارش غرب، شمال‌غرب و ناحیه خزری را مورد توجه و بررسی قرار داده‌اند. بر اساس مطالعه عساکره و رزمی (Asakereh and Razmi, 2012) بارش سالانه شمال‌غرب کشور رفتاری کاهشی را داشته است که این روند کاهشی عمدتاً حاصل کاهش بارش طی دهه آخر دوره مورد بررسی بوده است. ایشان معتقدند رژیم بارش در منطقه شمال‌غرب کشور از رژیم نامتمرکز تر به رژیم متمرکزتر رونهاده است (Asakereh and Razmi, 2011) و کمینه ضریب تغییرات بارش این منطقه در شمال‌شرق آن حادث می‌شود (Asakereh and Razmi, 2014). طاهریان‌زاد (Taherianzad, 2017) به بررسی وردش‌های جوی بارش‌های بهار ایران پرداخته است. در این مطالعه دوره زمانی مورد بررسی مربوط به سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۶ بوده است و از ترکیبی از داده‌های محیطی و گردشی بهره برده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که در مجموع روند کاهشی در بارش بهار کشور به جز در مناطق جنوبی رخ داده است. جامی و همکاران (Jami et al, 2018) به تحلیل زمانی- مکانی ناهنجاری بارش ایران زمین در سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۱۶ نسبت به سال‌های ۱۹۸۱-۲۰۱۰ پرداختند. در این مطالعه از داده‌های بارش با قدرت تفکیک بالا از مرکز^۱ MSWEP استفاده شده است. داده‌های این مرکز داده ترکیبی از داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاهی می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان از سیر کاهشی مقدار بارش در ماه‌های نوامبر تا آوریل در بخش‌های زیادی از کشور در دهه‌ی مورد مطالعه دارد. میریان و همکاران (Mirian et al, 2021) آماره‌ها و بی‌هنجاری‌های بارش ایران را در نیم‌قرن (۱۹۶۰-۲۰۱۰) مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه فصلی که براساس داده‌های ۳۵ ایستگاه همدید با طول دوره آماری مشترک و تراکم بالای ایستگاه‌ها در غرب کشور بوده است، نشان داده که مقادیر بارش از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور کاهشی می‌باشد. ضریب تغییرات در نواحی شمالی کمتر بوده و در

این داده‌ها جایگزین موفق‌تری برای داده‌های ERA-Interim شدند (Dee et al, 2011). داده‌های فوق که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) تولید شده (Hersbach and Dee, 2016) از سال ۱۹۷۹ تاکنون موجود بوده و چندی پیش داده‌ها به ۱۹۴۸ گسترش یافته است. در پژوهش حاضر از داده بارش با قدرت تفکیک 0.25×0.25 در طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱ (۴۲ سال) استفاده شده است. پس از اخذ داده‌های با فرمت NetCDF-4 برای گستره ایران به شکل ماهانه از www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanal و www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/era5 با استفاده از نرم‌افزار MATLAB داده‌ها استخراج و پایگاه داده‌های بارش ماهانه تشکیل گردید. به این ترتیب داده‌های بارش ماهانه (سری زمانی ۴۲ ساله) که در مجموع شامل ۵۰۴ ماه بود برای تعداد ۲۴۹۰ یاخته در پهنه ایران استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. که پراکنش یاخته‌ها در شکل ۱ آمده است. پرواضح است که داده‌های بازتحلیل در قیاس با داده‌های ایستگاه‌های زمینی کم‌برآوردی یا بیش‌برآوردی را در برخی مناطق دارند و عدم قطعیت در این داده‌ها باید مد نظر قرار گیرد. اما مطابق یافته‌های هاسلر و لوئر (Hassler and Lauer, 2021) داده‌های ERA5 پیشرفت واضحی نسبت به داده‌های ERA-Interim داشته و سوگیری‌های کوچکی را نسبت به دیگر داده‌های بازتحلیل شده نشان داده است. مطابق ادعای این پژوهش‌الگوی جهانی میانگین بارش در داده‌های مختلف بازتحلیل شده مشابه می‌باشد. در این نوع داده‌ها بیش‌برآوردی بارش در مناطق اقیانوسی مشهود بوده اما در ارتباط با مناطق خشکی هیستوگرام‌های توزیع فراوانی و سری‌زمانی ماهانه برآورد خوبی را نسبت به داده‌های ایستگاهی داشته اما در مورد مقادیر سالانه تفاوت‌ها بیشتر ذکر شده است. با توجه به محدودیت‌های موجود در مورد پراکنش ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری بارش در سطح کشور به خصوص در مناطق بیابانی و کوهستانی در این مطالعه از داده‌های ماهانه بارش از پایگاه داده ERA5 مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) استفاده گردید تا الگوهای رژیم بارش ایران مطابق این داده ترسیم و تحلیل گردد، همانطور که در بالا ذکر شده الگوهای مستخرج از این نوع داده با الگوهای داده‌های دیگر مشابه می‌باشد. گرچه دقت داده‌های یکی نیست اما الگوی

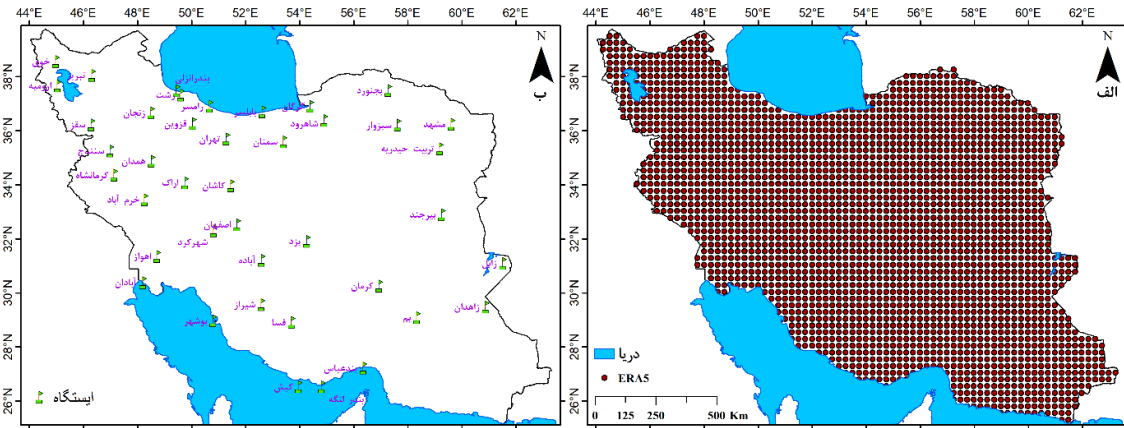
و اذعان داشتند که این پایگاه در نوع خود توانسته به خوبی در مقیاس روزانه عمل نماید. با توجه به این مهم که داده‌های بازتحلیل نسبت به محصولات ترکیبی که از داده‌های ایستگاهی برای کالیبراسیون (واسنجی) بهره می‌برند دارای این برتری هستند که در مناطق فاقد ایستگاه باران‌سنجی برآورد نسبتاً خوبی دارند (Fallah et al, 2020) و از سوی دیگر کارایی بهتر داده‌های بازتحلیل ERA5 نسبت به ERA-Interim (Hassler and Lauer, 2021) انگیزه استفاده این پایگاه داده‌ای را در بین محققان دوچندان نموده است. عملکرد خوب داده‌های بازتحلیل ERA-Interim از مطالعات رضیئی و ستوده (Raziei and Sotoudeh, 2017) و دارند و زند کریمی (Zandkarimi, 2015) و گرجی‌زاده و همکاران (Gurjizadeh et al, 2018) استنتاج می‌شود. مزید بر این عملکرد خوب داده‌های ERA5 در مقیاس روزانه (Najafi Taghizadeh et al, 2021; and MoghadamSani, 2022) ماهانه (Azizi et al, 2021; Rezaei et al, 2023) و فصلی (Izadi et al, 2021) در سطح کشور نیز مورد تأیید قرار گرفته است. اما تاکنون مطالعه‌ای جامع در به کارگیری این پایگاه داده برای بررسی بارش کل کشور صورت نگرفته است. در این مطالعه تلاش شده است ابتدا ارزیابی داده‌های بارش ماهانه این پایگاه داده نسبت به بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدید کشور با شاخص‌های مختلف انجام شود و سپس با به کارگیری پایگاه داده فوق که مزیت توزیع یکپارچه داده را برای پژوهش به همراه دارد و نقص داده و نبود ایستگاه در مناطق مختلف را پوشش می‌دهد، توزیع فضایی رژیم بارش و آماره‌های ضریب تغییرات و چولگی آن به منظور شناسایی رفتار بارش ایران در مقیاس زمانی سالانه، فصلی و نیز ماهانه مورد واکاوی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

از سال ۲۰۱۸ ERA5 (نسل پنجم بازتحلیل) با وضوح مکانی بالاتر و فیزیک مدل بهتر جایگزین ERA-Interim شده و جزئیات فرمت داده‌ها و نحوه دسترسی به آنها از طریق مخزن داده‌های آب‌وهوایی (CDS^۷) توسعه یافته به عنوان بخشی از خدمات تغییر اقلیم کوپرنیک C3S^۸ که توسط ECMWF پیاده سازی شده است) در دسترس هستند (Hersbach and Dee, 2016; Jiang et al, 2021).

بهره‌گیری از ضرایب آماری مختلف به ارزیابی دقت داده‌های بارش این پایگاه در سطح کشور پرداخته شد. در شکل ۱ پراکنش مکانی یاخته‌های پایگاه داده ERA5 و نیز ایستگاه‌های همدید مورد استفاده در سطح کشور نمایش داده شده است.

مشابه برای پیشبرد اهداف این حوزه در سطح ملی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به منظور سنجش نسبی تفاوت در برآورد بارش در این پایگاه داده نسبت به ایستگاه‌های همدید در سطح کشور تعداد ۴۱ ایستگاه همدید در کشور که ۴۲ سال داده بدون نقص داشتند انتخاب و با



شکل ۱: منطقه مورد پژوهش و پراکنش فضایی داده‌های مورد بررسی: الف: موقعیت مکانی یاخته‌های داده‌های شبکه‌ای ERA5 (قدرت تفکیک ۰/۲۵×۰/۲۵) و ب: موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدید استفاده شده برای ارزیابی داده‌های شبکه‌ای ERA5

ویلموت در اواخر قرن بیستم توسط ویلموت (Wilmut, 1981) به عنوان معیار استاندارد شده برای درجه خطای پیش‌بینی مدل پیشنهاد شد، که بین ۰ و ۱ متغیر است. شاخص توافق نشان‌دهنده نسبت میانگین مربعات خطای خطای بالقوه است. به طوری که مقدار توافق ۱ نشان دهنده تطابق کامل است و ۰ نشان دهنده عدم توافق می‌باشد. شاخص توافق می‌تواند تفاوت‌های افزایشی و متناسب در میانگین‌ها و واریانس‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را تشخیص دهد. با این حال، IA بیش از حد به مقادیر شدید به دلیل تفاوت‌های مجذور حساس است. برای نشان دادن واریانس خطای داده‌های برآوردی بارش در پایگاه داده ERA5 در پیش‌بینی مقادیر واقعی از آماره ریشه دوم میانگین ربع خطا (RMSE) استفاده شده که به منظور ایجاد شرایط بهتر برای مقایسه مقادیر این شاخص در ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر این شاخص استاندارد شده و با نام ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده NRMSE در جدول ۱ ارائه شده است. از شاخص اریبی استاندارد شده (Standard BIAS) که برآورد بیشتر یا کمتر داده‌های بازتحلیل را نسبت به داده‌های ایستگاهی نشان می‌دهد نیز استفاده گردید.

برای ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل بارش ماهانه ERA5 نسبت به داده‌های بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدید کشور، از ۴ آماره شاخص ضریب همبستگی (Correlation Coefficient)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت و شاخص اریبی استاندارد شده (Standard BIAS) به کارگرفته شد، این شاخص‌ها و شاخص‌های مشابه در مطالعات فراوان به کار گرفته شده است (Izadi et al, 2021; Wang et al, 2019; Raziei and Sotoudeh, 2017; Darand and Zande Karimi, 2015). روابط این شاخص‌ها و دامنه مقادیر خروجی آنها در جدول ۱ آورده شده است. در این روابط O_i بارش ماهانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه، \bar{O} متوسط بلندمدت بارش ماهانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه، S_i بارش ماهانه برآورد شده توسط پایگاه داده بازتحلیل ERA5 و \bar{S} متوسط بلندمدت بارش ماهانه برآورد شده توسط پایگاه داده بازتحلیل ERA5 می‌باشد. همچنین n تعداد کل ماه‌های مورد بررسی و i هر یک از ماه‌های مورد بررسی در طول دوره می‌باشد. شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه و شاخص‌هایی از این قبیل در تحلیل‌های مقایسه‌ای به کار می‌روند. شاخص توافق (IA)

جدول ۱: شاخص‌های آماری استفاده شده در ارزیابی داده‌های بارش ماهانه پایگاه داده بازتحلیل ERA5 با داده‌های بارش ایستگاه‌ها همدید ایران

| نام | رابطه | دامنه مقادیر |
|--|--|--|
| ضریب همبستگی (CC) | $CC = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$ | $0 \leq CC \leq 1$ |
| ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) | $NRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} / \bar{O}_i$ | به درصد $0 \leq NRMSE$ |
| ضریب توافق ویلموت (IA) | $IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$ | $0 \leq IA \leq 1$ |
| شاخص ارزیابی استاندارد شده (Standard BIAS) | $Bias = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \times 100$ $Standard\ Bias\ i - Bias / Biasmax - Biasmin$ | $-1 \leq Standard\ Bias \leq 1$ مقادیر منفی بیش‌برآوردی و مقادیر مثبت کم‌برآوردی |

رابطه ۲)

$$Pp = \frac{P}{\bar{P}} \times 100$$

که (P) میانگین بارش ماهانه یا فصلی دوره مورد مطالعه و (\bar{P}) میانگین بارش سالانه دوره مورد مطالعه برای هر ماه و هر فصل است. برای محاسبه روند از رگرسیون خطی ساده بهره گرفته شده است. در این روش معادله برازش خط به صورت رابطه ۳ است:

رابطه ۳)

$$\hat{y}_i = a + bt_i$$

این معادله یک معادله درجه اول است و رابطه‌ای خطی را بیان می‌دارد. در این رابطه \hat{y} مختصات خط به ازای t های مختلف است. جزء $a+bt_i$ در این معادله به عنوان مؤلفه قطعی موسوم است که در آن a عرض از مبدا و b شیب خط حاصل از معادله است. عرض از مبدا، بیان‌گر نقطه‌ی آغاز ارتباط دو متغیر است درحالی‌که شیب خط، مقدار کجی و انحناء بهترین خط برازش یافته و عبارت از تانژانت زاویه خط وایازی و محور افقی (X) است (Asakerh, 2011). مثبت یا منفی بودن شیب خط به ترتیب بیان‌گر روند افزایشی یا کاهش می‌باشد، در حالی‌که صفر بودن آن دال بر فقدان روند است. در این پژوهش به منظور محاسبه ضرایب رگرسیونی، از روش کم‌ترین مربعات خطا (LSE) بهره گرفته شده است.

بحث و نتایج

بررسی دقت داده‌های بارش ERA5 در مقایسه با داده‌های بارش ایستگاه‌های همدید

سپس در ادامه با بهره‌گیری از داده‌های پایگاه داده ERA5 سری‌زمانی سالانه، فصلی و ماهانه بارش ایجاد شد. سری‌زمانی سالانه براساس سال آبی از سپتامبر تا آگوست سال بعد، به علت شروع بارش‌های منطقه مورد مطالعه از ماه سپتامبر تعریف گردید. برای ارائه تصویری روشن از مشخصه‌های بارش در پهنه مورد بررسی، میانگین، ضریب تغییرات و درصد بارش در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه برآورد شد. برای مطالعه توزیع فضایی (زمانی- مکانی) بارش، مشخصه‌های مذکور و تغییرات آن برای هر یک از گره‌ها، توزیع فضایی مورد بررسی محاسبه و ارائه گردید. در ادامه بحث، این روش‌ها به‌طور مختصر معرفی خواهد شد: به منظور تحلیل و نمایش تغییرات زمانی و مکانی بارش، ضریب تغییرات ماه به ماه مجموع بارش بلندمدت برای ۲۴۹۰ یاخته در پهنه کشور محاسبه شد. این نمایه از نسبت انحراف معیار (s) به میانگین (\bar{x}) که براساس رابطه ۱ به درصد بیان می‌شود (Mahmoudvand et al, 2007):

رابطه ۱)

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

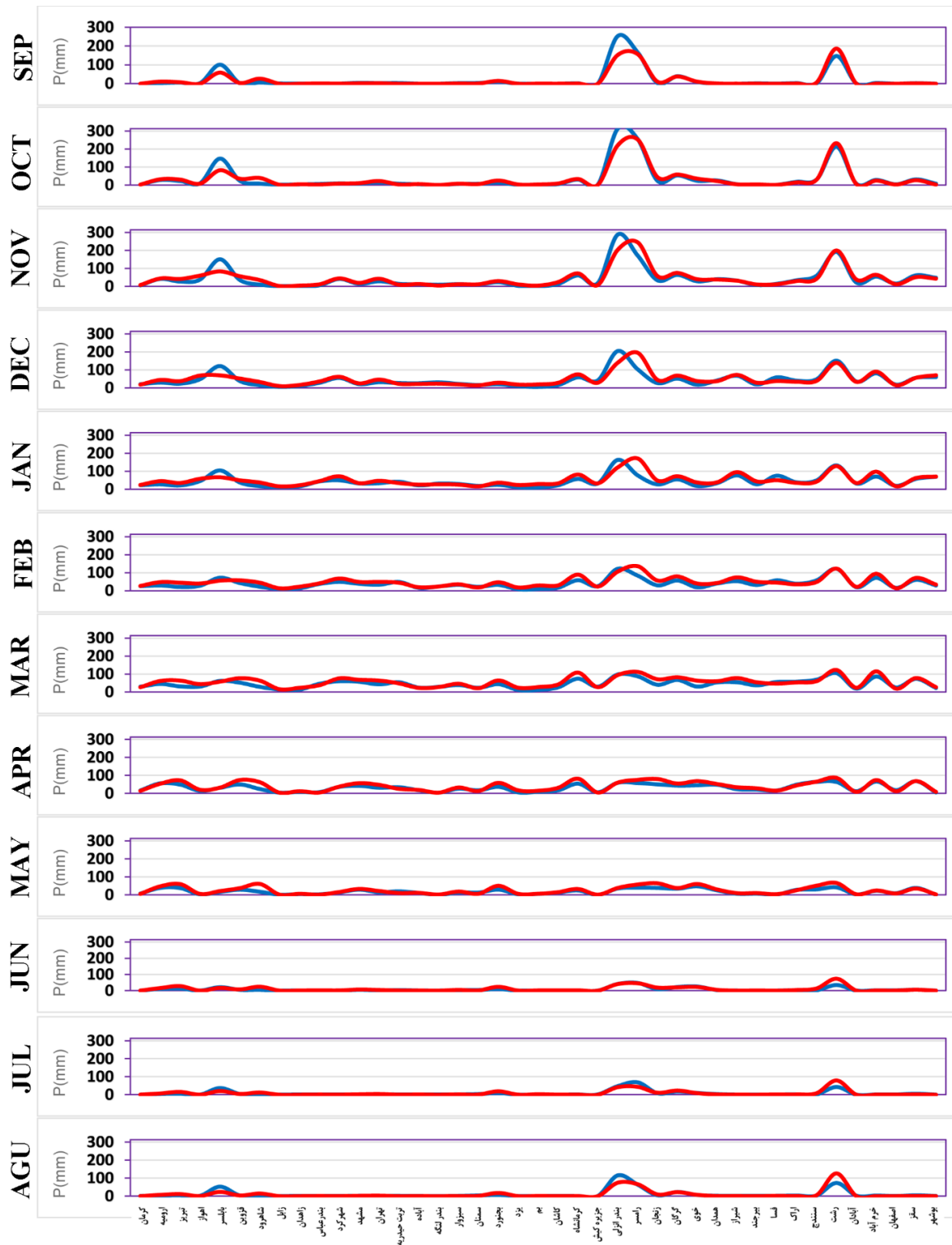
این نمایه تصویری از رژیم بارش به دست می‌دهد. ضریب تغییرات کم، معرف پایداری و توزیع زمانی یکنواخت بوده، در حالی‌که ضریب تغییرات بالا معرف تمرکز بارش در یک بازه زمانی کوتاه است. بدین نحو که اگر مقدار CV کمتر باشد، بارش منظم بوده، از توزیع نسبتاً یکنواختی برخوردار است و هر چه این میزان بیشتر باشد، دال بر بی‌نظمی حدوث بارش و گویای تفاوت‌های شدید ماه‌ها به لحاظ میزان دریافت بارش است.

درصد بارش هر ماه یا فصل را با استفاده از روش رابطه ۲ محاسبه گردید:

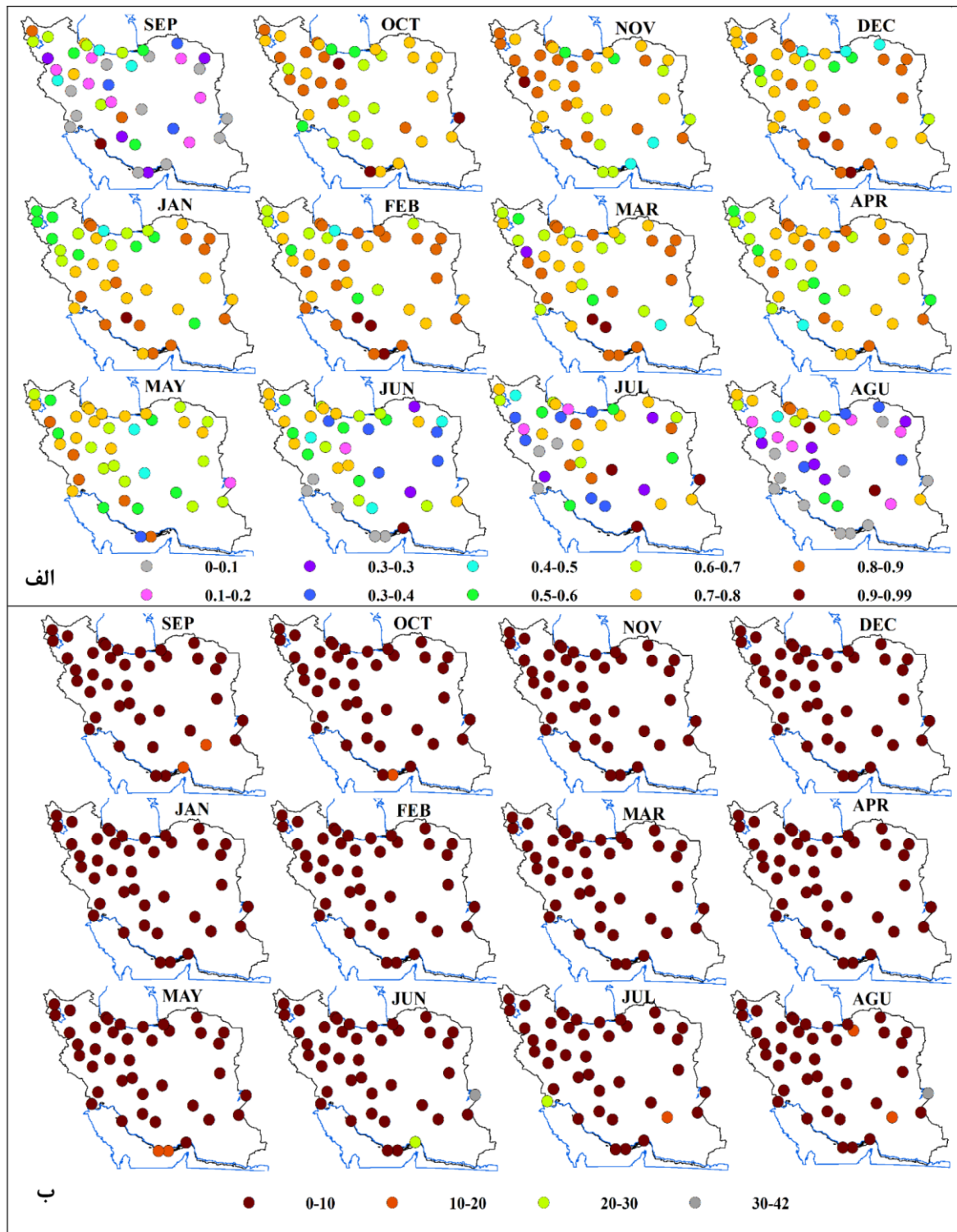
توافق خوب بین داده‌ها در این شاخص تعیین شده است. اما در ایستگاه‌های بندرعباس در ماه ژوئن و آبادان در ماه جولای توافق قابل قبول و در زابل در ماه‌های ژوئن و آگوست عدم توافق نشان داده شده است. شاخص توافقی ویلموت AI در ماه‌های اکتبر تا آوریل کارایی بالای پایگاه داده ERA5 را در برآورد بارش ماهانه اغلب ایستگاه‌های همدید مورد بررسی نشان می‌دهد. کمترین کارایی سنجیده شده متعلق به ماه آگوست می‌باشد. به این معنا که در این ماه پایگاه داده ERA5 برآورد مطلوبی از بارش کشور را نداشته است. در ماه‌های اکتبر تا آوریل مقدار ضریب کارایی در بیش از ۹۵ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی بالای ۰/۵ بوده است اما در ماه آگوست این درصد به کمتر از ۴۰ رسیده است و بیش از ۶۰ درصد مقدار ضریب کارایی کمتر از ۰/۵ را داشته‌اند (شکل ۴ الف).

بررسی شاخص اریبی استاندارد در ماه‌های مختلف نشان داد که بیشترین کم برآوردی پایگاه داده ERA5 نسبت به ایستگاه‌های همدید با توجه به تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی، به ترتیب در ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر و جولای رخ داده که در این ماه‌ها بین ۴۰ تا حدود ۵۷ درصد ایستگاه‌های بررسی شده مقادیر اریبی استاندارد مثبت (کم برآوردی) را داشته‌اند. اما بیشترین بیش برآوردی پایگاه داده ERA5 نسبت به ایستگاه‌های همدید با توجه به تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی، به ترتیب در ماه‌های فوریه، آوریل، ژانویه و ژوئن بوده است که بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌های بررسی شده مقادیر اریبی استاندارد منفی (بیش برآوردی) را داشته‌اند (شکل ۴ ب). ایستگاه شاهرود در ۷ ماه، بم در ۶ ماه و ایستگاه‌هایی مثل زابل، یزد، آبادان، بوشهر، بندر لنگه، سنج، تبریز و خوی در برخی ماه‌ها مقادیر قابل توجهی از اریبی استاندارد منفی (بیش برآوردی) را داشته‌اند. در پژوهش ایزدی و همکاران (Izadi et al, 2021) تفاوت زیاد بین داده‌های بارش ماهانه مشاهده شده در ایستگاه‌های همدید و شبیه‌سازی شده توسط ERA5 در برخی از ایستگاه‌ها به عوامل داخلی پیچیده مانند کوهستانی بودن منطقه، جهت‌گیری متفاوت ناهمواری، تنوع ارتفاع و فرآیندهای همرفتی مرتبط دانسته شده است.

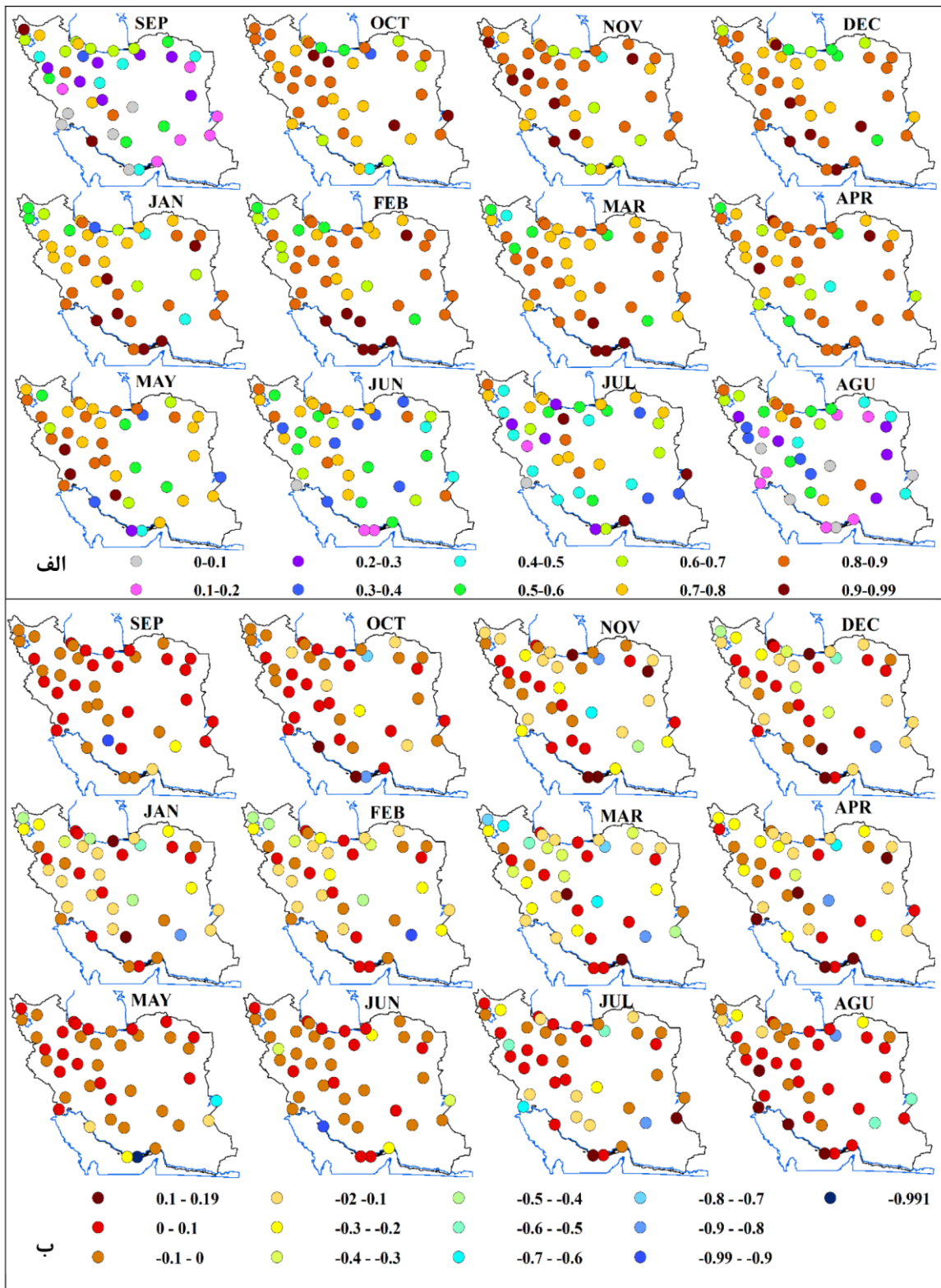
در شکل ۲ مقایسه‌ای از بارش برآوردی ماهانه (متوسط ۱۹۷۹-۲۰۲۱) در پایگاه داده ERA5 نسبت به بارش ایستگاه‌های همدید سطح کشور ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود الگوی کلی بارش ایستگاهی در نمودارها به یک شکل می‌باشد. بیش برآوردی و کم برآوردی در برخی ایستگاه‌ها دیده می‌شود. تفاوت‌های برآوردی در ایستگاه‌های پربارش مانند بندرانزلی، رامسر، بابلسر و رشت بیشتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. براساس شکل ۳ بخش الف، با توجه به بررسی صورت گرفته به تفکیک ایستگاهی (ایستگاه‌ها در مناطق پراکنده از کشور که دارای اقلیم بارش متفاوت و ارتفاع گوناگون بوده است، می‌باشند) در ماه‌های مختلف ضریب همبستگی مقادیر متنوع در هر ماه در هر بخش از کشور را نشان می‌دهد به گونه‌ای که مقادیر همبستگی برای ماه‌های پربارش (اکتبر تا می) در بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی بیش از ۰/۵ بین بارش ماهانه برآورد شده در پایگاه داده ERA5 و داده‌های ایستگاه همدید بوده است. اما در ماه‌های جولای تا سپتامبر ۴۰ تا ۷۰ درصد ایستگاه‌ها همبستگی کمتر از ۰/۵ بین دو داده مورد ارزیابی را کسب نموده‌اند. به نظر می‌رسد که در ماه‌های کم‌بارش‌تر کشور پایگاه داده ERA5 ضعف بیشتر در برآورد مقادیر بارش دارد. لذا استفاده از بارش برآوردی این پایگاه در ماه‌های بارشی قابلیت اعتماد بیشتری دارد. بررسی شاخص ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) در ماه‌های مختلف در بیشتر ایستگاه‌های همدید بررسی شده کمترین میزان را داشته است. این شاخص به نوعی بیانگر درصد اختلاف نسبی مقادیر برآورد شده در برابر مقادیر ایستگاهی می‌باشد. مقادیر کمتر از ۱۰ درصد توافق عالی بین دو داده، مقادیر ۱۰ تا ۲۰ درصد توافق خوب و ۲۰-۳۰ درصد توافق قابل قبول را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۳ (بخش ب) دیده می‌شود در تمام ماه‌ها در درصد بالایی از ایستگاه‌ها مقادیر این شاخص کمتر از ۱۰ درصد به معنای توافق عالی بین داده‌ها می‌باشد. اما در برخی موارد مانند بم و بندرعباس در ماه سپتامبر، بندرلنگه در ماه اکتبر، بندرلنگه و جزیره کیش در ماه می، شاهرود و بم در ماه آگوست



شکل ۲: مقایسه میزان بارش ماهانه برآورد شده در پایگاه داده ERA5 نسبت به بارش ماهانه ایستگاه همدید در ایستگاه‌های مختلف در سطح کشور. خط آبی مجموع بارش ماهانه (میلی‌متر) ایستگاه همدید و نمودار قرمز بارش ماهانه (میلی‌متر) نزدیک‌ترین ایستگاه در شبکه داده ERA5 به ایستگاه همدید می‌باشد.



شکل ۳: بخش الف: ضریب همبستگی بین بارش ماهانه (میلی‌متر) در نزدیک‌ترین یاخته در شبکه داده ERA5 نسبت به بارش ماهانه ایستگاه همدید می‌باشد. بخش ب: ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) بین بارش ماهانه (میلی‌متر) در نزدیک‌ترین یاخته در شبکه داده ERA5 نسبت به بارش ماهانه ایستگاه همدید می‌باشد.



شکل ۴: بخش الف: شاخص توافقی ویلموت، بین بارش ماهانه (میلی‌متر) در نزدیک‌ترین ایستگاه در شبکه داده ERA5 نسبت به بارش ماهانه ایستگاه همدمید می‌باشد. بخش ب: شاخص آریبی استاندارد شده (Standard BIAS) بین بارش ماهانه (میلی‌متر) در نزدیک‌ترین ایستگاه در شبکه داده ERA5 نسبت به بارش ماهانه ایستگاه همدمید می‌باشد، در این ضریب بایاس استاندارد منفی (بیش برآوردی) و بایاس استاندارد مثبت (کم برآوردی) می‌باشد.

آماره‌های ماهانه بارش

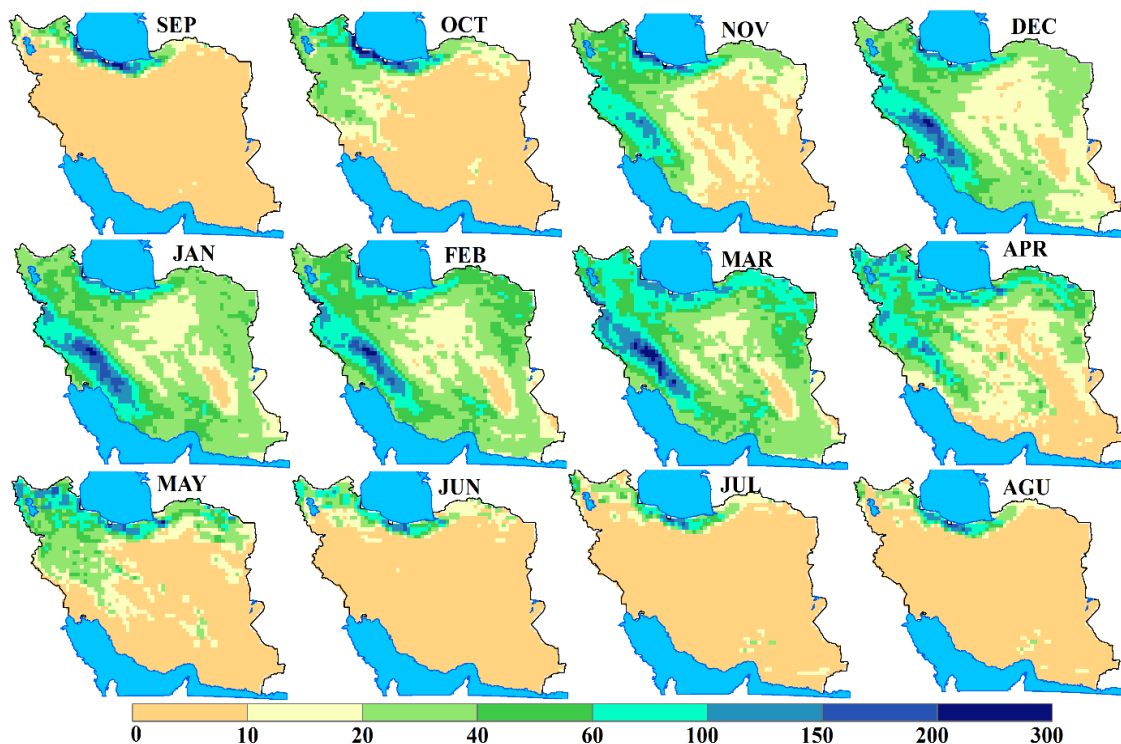
در منطقه مورد مطالعه، بارش با آغاز دوره سرد از سپتامبر شروع و تا ماه می به طول می‌انجامد، که اوج میانگین بارش در مناطق سواحل دریای خزر و سپس در نواحی رشته کوه‌های زاگرس دریافت می‌شود. به‌طور کلی بارش ماهانه در ایران از سپتامبر و اکتبر از شمال غرب کشور آغاز و در نهایت در ماه می در این منطقه کاهش می‌یابد، که با نتایج پژوهش احمدی و همکاران (Ahmadi et al, 2015) همسو است. در واقع علل افزایش میانگین بارش این نواحی در ارتباط با عبور چرخند یا سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی مهاجر و منطقه همگرایی و گردش چرخندی ناشی از آن است که عامل اصلی ترزیک رطوبت به داخل این چرخندها، و اچرخند مستقر بر روی دریاهای اطراف می‌باشد. برعکس این نواحی، مناطق مرکزی پست و هموار میزان میانگین بارشی بسیار کمتری دارند. در مقابل، دوره گرم بارش منطقه کم شده و تنها به چند مکان خاص (سواحل دریای خزر و شمال غرب) اختصاص می‌یابد (شکل ۵). این تفاوت-ها از یک سو، به طبیعت رفتار مکانی بارش و از سوی دیگر، به تنوع منشأ بارش برمی‌گردد که سبب شده در نقاط مختلف ریزش‌های جوی متنوعی دیده شود (Kaviani and Masoudian, 2007). بررسی نمودارهای ماهانه سری زمانی بارش در پهنه ایران (شکل ۶) نشان از افت‌وخیز نمودار ماهانه برای هر ماه در طی سال‌های مختلف دارد. به عبارتی، افت‌وخیزهای مداوم خطوط نمودارهای ماهانه بیان‌گر رفتار نامنظم بارش کشور در هر ماه می‌باشد. این تغییرپذیری چشمگیر حتی در ماه‌های پربارش هم مشاهده می‌شود. با توجه به گستره پهناور کشور و وجود پهنه‌های هم‌بارش متنوع در کشور که هر یک ممکن است با توجه به سامانه‌های فعال جوی در مقطع مشخصی از سال بیشینه بارش خود را دریافت نمایند، تا حدودی نوسانات مشاهده شده قابل توجیه است. اما در برخی سال‌ها مانند ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱، ۲۰۰۸-۲۰۰۷ و ۲۰۲۰-۲۰۲۱ که در نمودار با نشانگر قرمز نشان داده شده‌اند، خشکسالی و ناهنجاری منفی بارش به گونه‌ای بوده است که در بسیاری از ماه‌های سال (به صورت مشهود در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ به‌طوری که حدود یک سوم بارش کشور در این سال فقط در ماه ژانویه دریافت شده است) تمایل نمودار به مقادیر بسیار کم بارش بوده است. واکاوی انتزاعی سری زمانی هر یک از ماه‌ها

نمایی از رفتار بلندمدت آن را نشان می‌دهد. به‌گونه‌ای که شواهد نشان از سیر کاهشی متوسط بارش کشور در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه (فصل زمستان)؛ سیر نسبی افزایش متوسط بارش در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر (فصل پاییزی)؛ و سیر کاهشی در ماه مارس (به گونه‌ایی که سال‌های پس از ۲۰۰۰ میلادی از سهم بارش این ماه در بارش سالانه کشور به نسبت دو دهه قبل کاسته شده است) و ماه می و در مقابل سیر افزایشی در ماه آوریل (فصل بهار) دارد (جدول ۲)، نتایج مطالعه کریمی و همکاران (Karimi et al, 2020)، این امر را تأیید می‌کند. لازم به ذکر است که گرچه تفاوت‌های برآوردی در داده‌های بارشی پایگاه ERA5 به نسبت ایستگاه‌های هم‌دید وجود دارد اما الگوی کلی بارش این دو نوع داده مطابق ارزیابی صورت گرفته که در بحث قبل به آن پرداخته شد، انطباق زیادی دارد.

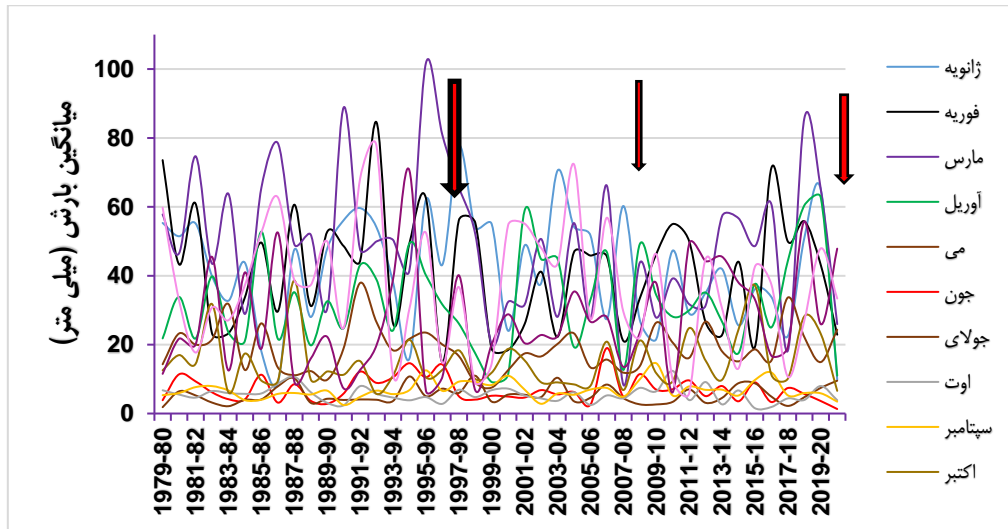
ضریب تغییرات ماهانه بارش، گویای شدت تغییرات ماه به ماه بارش است. این شاخص می‌تواند الگویی نسبی از تغییرپذیری بارش را ارائه کند. در واقع نقشه ضریب تغییرات ماهانه بارش، تداعی‌کننده نوسان‌های شدید بارش ماهانه است؛ به‌طوری که دامنه ضریب تغییرات بارش ماهانه کمتر از ۲۰ درصد از دسامبر تا مارس در شمال غرب، شمال و غرب کشور به بیش از ۴۵۰ درصد در جولای تا سپتامبر در جنوب، جنوب شرق می‌رسد (شکل ۷). بدین ترتیب که میزان کمترین تغییرات در گستره وسیعی از کشور، از دسامبر تا آوریل مشاهده می‌شود؛ اما در ماه می با نزدیک شدن به تابستان، بار دیگر ضریب تغییرات سیر صعودی می‌یابد. این سیر صعودی تا ماه سپتامبر ادامه و در ماه اکتبر نسبت به ماه‌های قبل کمتر می‌شود. کمترین ضریب تغییرات در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس است. این وضعیت گویای غلبه سامانه‌های فراگیر در این ماه‌ها می‌باشد؛ به‌طوری که تمامی نقاط، بارش‌های تقریباً مشابهی را دریافت می‌کنند. بنابراین، می‌توان چنین استنباط کرد که با افزایش بارش، قابلیت اعتماد آن افزایش می‌یابد. تغییرات بالا در نیمه جنوبی و نواحی مرکزی کشور با بیش از ۱۰۰ درصد، منعکس‌کننده تأثیر سامانه‌های بارش‌زای متمرکز در یک ماه است؛ در حالی که کاهش این ضریب در منطقه نیمه شمالی، منطبق بر شمال، شمال غرب، شمال شرق و غرب تا کمتر از ۵۰ درصد گویای اختلاف کم بارش دریافتی طی

شرق‌سوی مرکز پرفشار جنب‌حاره‌ای ایران در ترازهای میانی وردسپهر و افزایش گردش و اچرخند بر جانب شمالی شبه قاره هند و پاکستان، جابجایی غرب‌سوی کم‌فشارهای موسمی و ورود آن‌ها به منطقه دریای عرب امکان‌پذیر گردیده است (Alijani, 2011). در عین حال، پراکنش مکانی نابرابر بارش کشور نمودی آشکار دارد، که از یک سو به طبیعت رفتار مکانی بارش که متغیری سرکش است، باز می‌گردد و از سوی دیگر، تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف ایران موجب گردید تا در هر منطقه، مقادیر ریزش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد. در دوره گرم سال فراوانی یاخته‌های توأم با بارش بیش از میانگین، کم‌تر از تعداد یاخته‌های توأم با مقادیر کم‌تر از میانگین (چوله به سمت راست و مثبت) در بیشتر نقاط کشور می‌باشد (شکل ۹). غلبه چولگی مثبت شدید در فصل گرم در درصد بالایی از پهنه کشور و در سایر ماه‌ها در بخش‌هایی از جنوب‌شرق، جنوب، مرکز و حتی بخش‌هایی از شمال‌غرب و شمال‌شرق دیده می‌شود.

ماه‌های مختلف سال است. در واقع، این امر گویای فعالیت سامانه‌های متنوع بارش‌زایی و یا حداقل تداوم سامانه‌های بارش‌زا در این قبیل نقاط است. مرطوب‌ترین ماه کشور، مارس و کم‌بارش‌ترین ماه آن، آگوست است (شکل ۸). در این ماه، (آگوست) قلمرو وسیعی از گستره جغرافیایی ایران از نبود و فقر بارش رنج می‌برد. این نواحی بیشترین مناطق بیابانی ایران می‌باشند که در واقع در قسمت‌های شرقی زاگرس واقع شده است. به عبارتی دیگر ارتفاعات زاگرس مانع از رسیدن توده‌های بارش‌زا به این نواحی شده است. همچنین در این بخش از کشور فعالیت پرفشار جنب‌حاره در اکثر ماه‌های فاقد بارش قابل توجه می‌باشد. در مجموع ماه‌های اکتبر و نوامبر نماینده انتهای فصل کم‌بارش یا مرحله گذار از فصل کم‌بارش به پربارش محسوب می‌گردند و ماه می نیز نماینده انتقال فصل پربارش به کم‌بارش محسوب می‌شود. این در حالی است که به‌ویژه در جنوب‌شرق کشور و بخش‌های سواحل دریای عمان بارش - های ماه‌های تابستان ناشی از فعالیت کم‌فشار موسمی (گنگ) رخ می‌دهند. که این وضعیت ناشی از گسترش



شکل ۵: توزیع فضایی میانگین بارش (میلی‌متر) ماهانه ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱) براساس پایگاه داده ERA5.

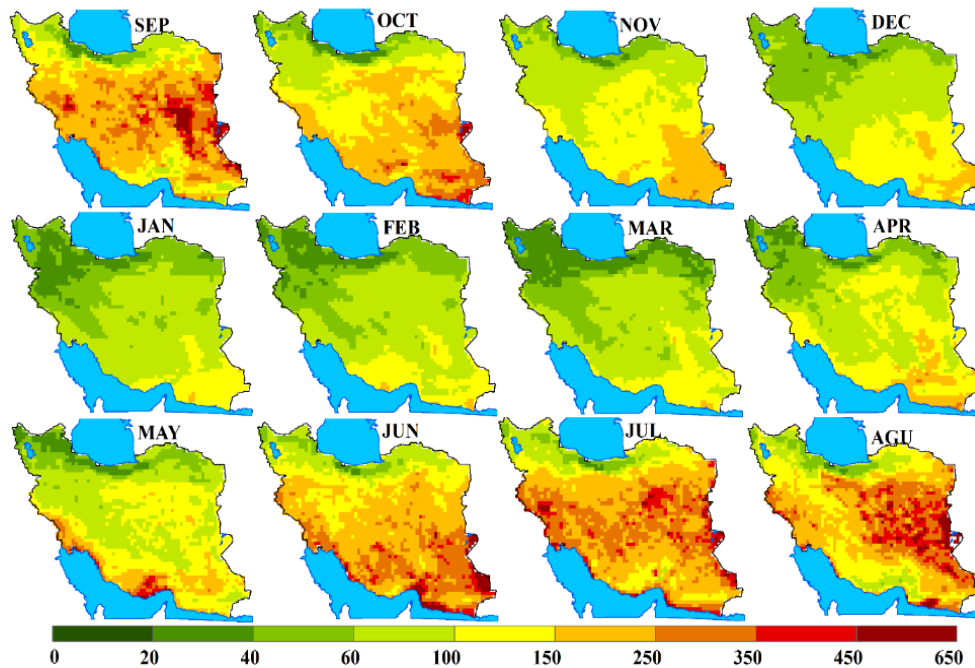


شکل ۶: سری زمانی میانگین بارش (میلی متر) ماهانه ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱) براساس پایگاه داده ERA5. نشانگرهای قرمز در نمودار ناهنجاری منفی قابل توجه در سری زمانی بارش را نشان می دهند.

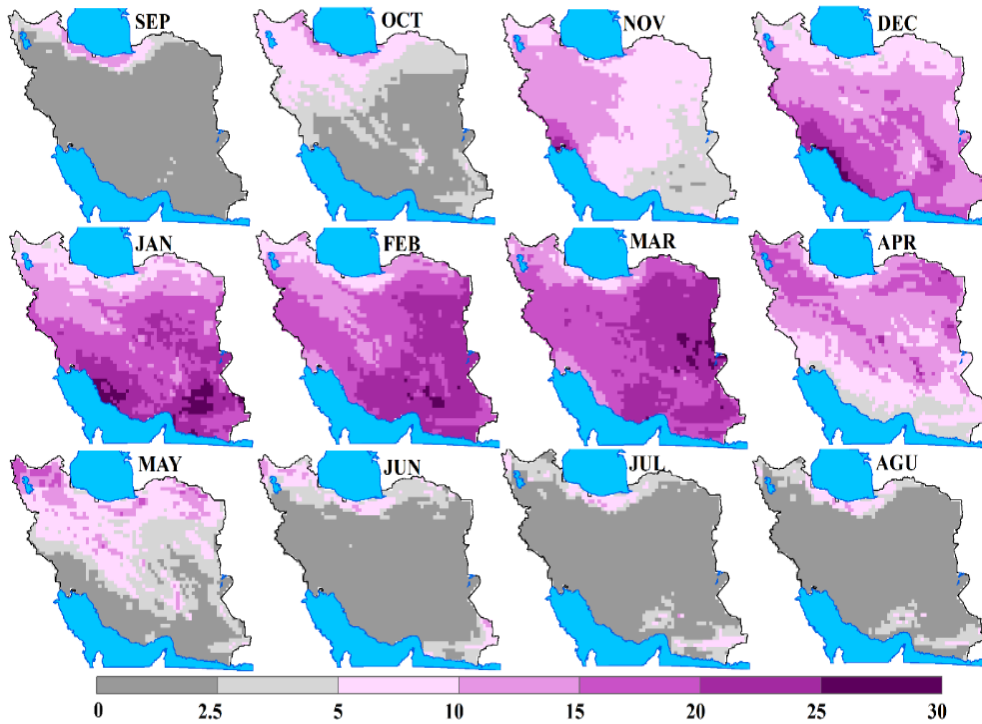
جدول ۲: معادله های رگرسیون خطی روند بارش ماهانه (۱۹۷۹-۲۰۲۱) در ایران.

| ماه | معادله خط رگرسیون | ماه | معادله خط رگرسیون |
|--------|--------------------------|---------|-------------------------|
| دسامبر | *** $Y = -0.29x + 36.8$ | جون | *** $Y = -0.04x + 7.05$ |
| ژانویه | *** $Y = -0.20x + 42.02$ | جولای | *** $Y = -0.03x + 5.4$ |
| فوریه | *** $Y = -0.17x + 41.67$ | آگوست | *** $Y = -0.02x + 5.5$ |
| مارس | *** $Y = -0.39x + 49.5$ | سپتامبر | *** $Y = 0.03x + 6.8$ |
| آوریل | *** $Y = 0.18x + 32.4$ | اکتبر | *** $Y = 0.06x + 15.2$ |
| می | *** $Y = 0.01x + 18.9$ | نوامبر | *** $Y = 0.32x + 27.3$ |

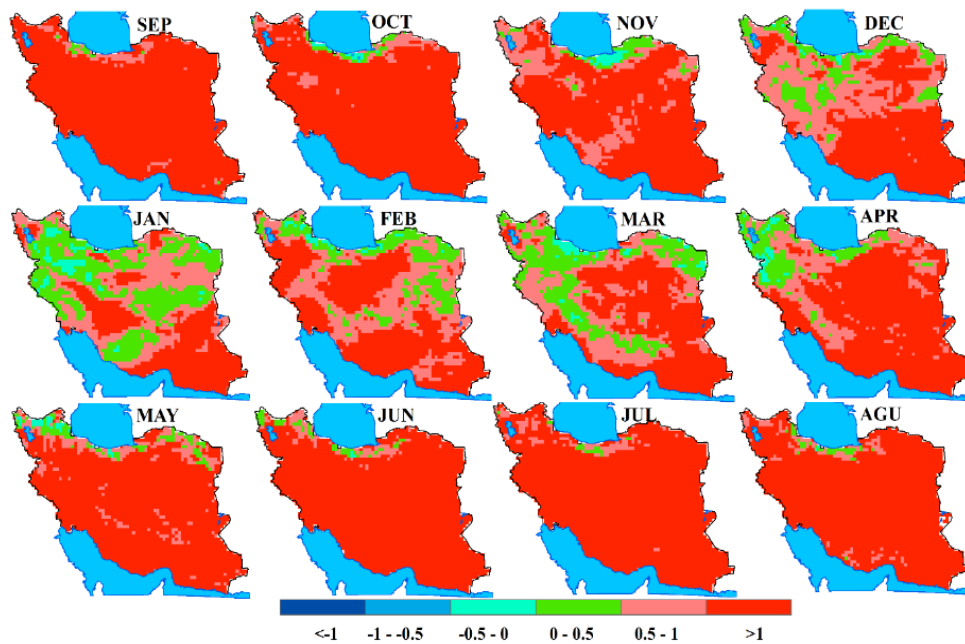
*** معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪، Y رفتار بارش (شیب بارش) و X سال.



شکل ۷: توزیع فضایی ضریب تغییرات (درصد) بارش ماهانه ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱) براساس پایگاه داده ERA5



شکل ۸: توزیع درصد بارش ماهانه ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱) براساس پایگاه داده ERA5

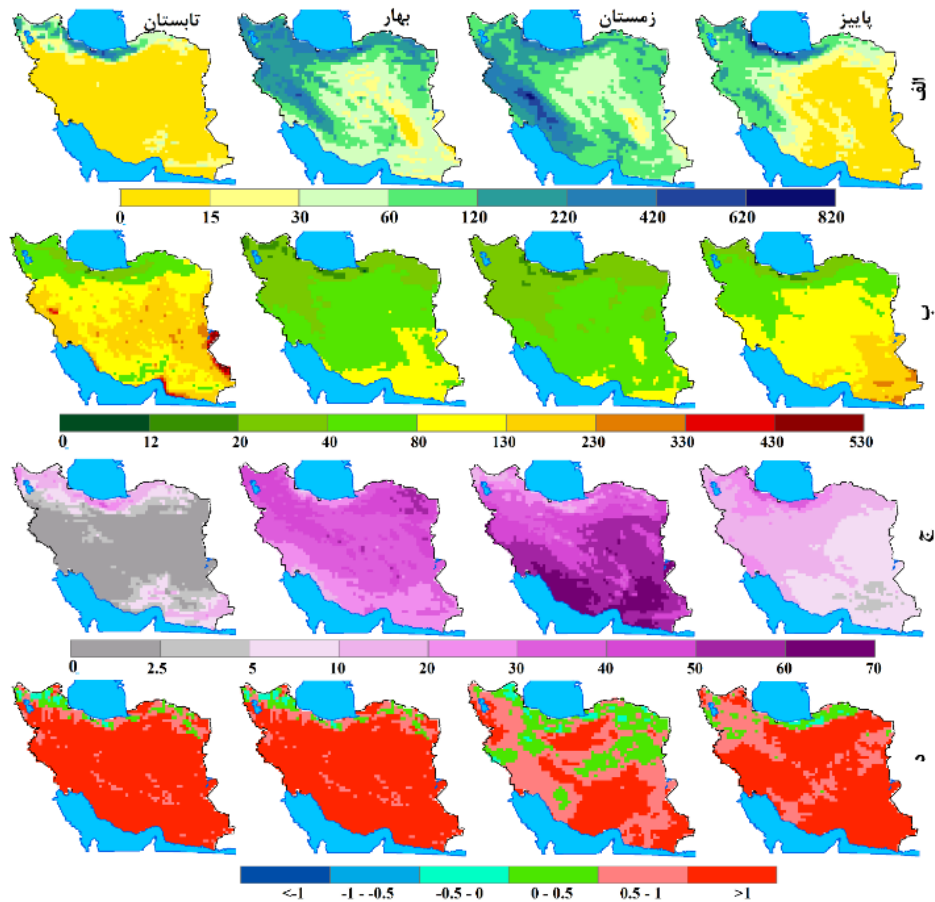


شکل ۹: توزیع فضایی مقادیر چولگی بارش ماهانه ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱) براساس پایگاه داده ERA5

آماره‌های فصلی بارش

کم‌ترین میانگین بارش فصلی، مربوط به فصل تابستان است. توزیع مکانی- زمانی بارش فصلی ناشی از تأثیر الگوها، سامانه‌ها و خصوصیات اقلیمی متفاوتی است که به علت موقعیت خاص جغرافیایی کشور به وجود می‌آیند. به‌طوری که نواحی رشته‌کوه‌های زاگرس تحت تأثیر سامانه‌های

بارش‌زا مدیترانه‌ای، سواحل خزر متأثر از سامانه‌های مهاجر و همچنین جنوب شرق کشور و نواحی ساحلی خلیج فارس علاوه بر سامانه‌های بادهای غربی تحت تأثیر نفوذ سامانه‌های کم‌فشار مونسونی می‌باشند؛ بنابراین در چنین شرایطی ایران از نوسانات اقلیمی شدید برخوردار می‌شود (Arabi, 2006).



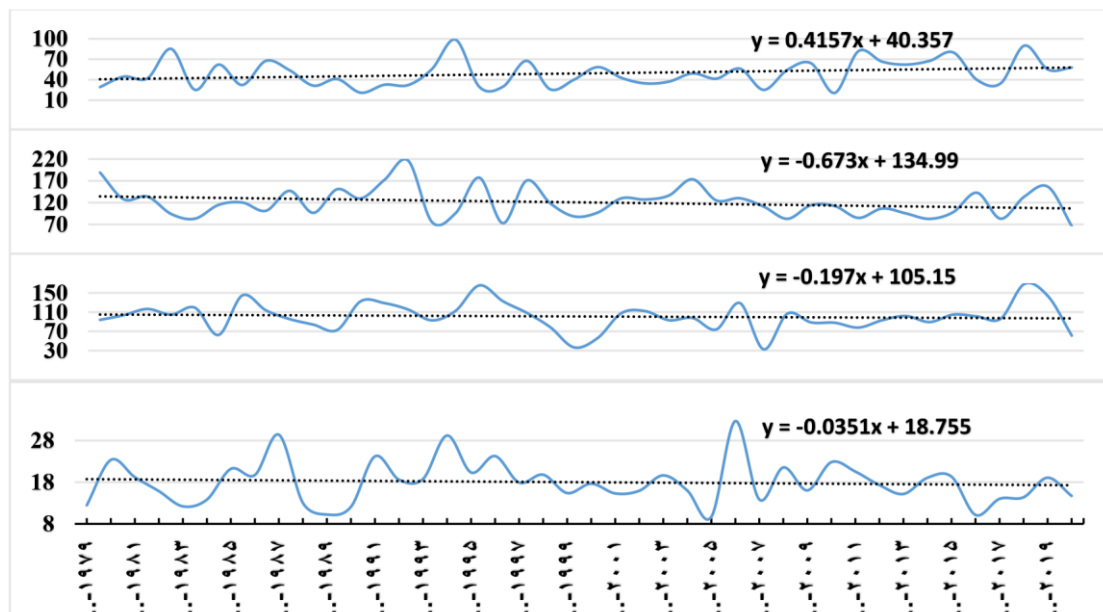
شکل ۱۰: الف: توزیع میانگین، ب: ضریب تغییرات، ج: درصد و د: چولگی بارش فصلی ایران (۲۰۲۱-۱۹۷۹) براساس پایگاه داده ERA5.

کمترین درصد بارش سالانه خود را دارند. نواحی پربارشی نظیر زاگرس مرکزی فصل بارش طولانی‌تری را تجربه می‌نمایند به این صورت که تمرکز بارش دریافتی در این مناطق محدود به یک فصل نمی‌باشد. در فصل بهار، بیشینه دریافت بارش به ترتیب مربوط به قسمت‌های شمال‌غربی، شمال‌شرق و ارتفاعات زاگرس و کمینه دریافتی آن در بخش‌های مرکزی، شرقی و کرانه‌های جنوبی کشور است. اما فصل پاییز بیش‌ترین بارش در کرانه‌های دریای خزر و پس از آن شمال‌غرب و جنوب‌غرب کشور بوده است. در نهایت در فصل تابستان، تمرکز بیشینه بارش بیشتر در کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های خزر و همچنین در جنوب‌شرق کشور می‌باشد. به‌طور کلی، کم بودن مقدار بارش و نوسانات مقادیر آن در مقیاس فصلی از ویژگی ذاتی اقلیم ایران است. بنابراین، در کل ایران ناهماهنگی در توزیع زمانی-مکانی بارش با توجه به اینکه تغییرپذیری به وضوح دیده شد. توزیع مکانی-زمانی ضریب چولگی در سطح کشور نشان از رخداد چولگی منفی متوسط در بخش‌هایی از غرب کشور دارد، رخداد چولگی متوسط منفی در تمام فصول و در کل

به‌طوری که، بیشترین دامنه تغییرات مکانی فصلی بارش، مربوط به فصل‌های تابستان و پاییز است. با تغییر فصل از پاییز به فصل زمستان، میزان تغییرات بارش در پهنه کشور رو به کاهش می‌گذارد. از لحاظ مکانی نیز این تغییرات عمدتاً در نواحی کوهستانی و نیز نیمه‌غربی کشور نمود داشته‌اند، که با پژوهش عساکره (Asakereh, 2007) مطابقت دارد. عمده مناطق کشور بیشترین درصد بارشی خود را در فصل زمستان و فصل بهار دریافت می‌کنند. پربارش‌ترین و کم‌بارش‌ترین فصل ایران به ترتیب زمستان و تابستان هستند. مهم‌ترین مزیت بارش زمستانه پراکنده بودن آن در تمام مناطق کشور است. اما بارش تابستانه تنها در قسمت‌های شمالی و بعضاً بخش‌هایی از شرق و جنوب‌شرق کشور قابل مشاهده است (شکل ۱۰ ج). به عبارت دیگر در این فصل قلمرو وسیعی از کشور هیچ بارشی دریافت نمی‌کند. بخش‌های مرکزی، شرقی، جنوبی و حتی جنوب‌غرب کشور بیشترین درصد بارش سالانه خود را در فصل زمستان دریافت می‌کنند، این در حالی است که کرانه‌های غربی دریای خزر و شمال‌غرب کشور در این فصل

همسو است. آهنگ تغییرات فصول مختلف با توجه به روند محاسبه شده برای هر نمودار در شکل دیده می‌شود. مطابق این رابطه در فصل پاییز در دوره مورد مطالعه (۴۲ سال) حدود ۱۷/۵ میلی‌متر افزایش بارش دیده می‌شود. اما در سایر فصول روند کاهشی بوده که بیشینه این روند منفی مربوط به فصل زمستان بوده که ۲۸/۲۶ میلی‌متر کاهش بارش را نشان می‌دهد. تغییرات فوق از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای معناداری آماری بوده است. به نوعی گفت که این تغییرات نشان از جابجایی رژیم فصلی بارش ایران از فصول زمستان و بهار به فصل پاییز در طول زمان دارد. در مطالعه‌ای که توسط دارند و پژوه (Darand and Pazhoh, 2022) در ارتباط با تغییرات زمانی- مکانی تراکم بارش ایران صورت گرفته است، کاهش دوره تراکم بارش در شمال شرق و شمال غرب کشور دیده شده است که نشان‌دهنده تغییر در دوره رخداد بارش در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ نسبت به سال‌های ۱۹۶۲ تا ۱۹۹۸ بوده که رخدادها از زمستان به اواخر پاییز و اوایل زمستان جابجا شده است (Darand and Pazhoh, 2022).

پهنه کشور محدود به همین مورد شده است. این شکل توزیع بارش در این منطقه قابل توجه می‌باشد. حال این شکل توزیع متوسط بارش بهار این منطقه در حالی رخ داده که همین منطقه در زمستان چولگی شدید مثبت و در پاییز نیز چولگی متوسط داشته است (شکل ۱۰ د). توزیع بارش فصول مختلف می‌تواند در برنامه‌ریزی نوع کشت و زمان کشت در مباحث کشاورزی در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرد تا نتایج مطلوب‌تری در بخش کشاورزی حاصل آید. سهم بارش فصول مختلف در بارش سالانه کشور متفاوت است. بیشترین سهم بارش کشور با ۴۴/۵ و ۳۵ درصد به ترتیب مربوط به زمستان و بهار می‌باشد. به عبارتی رژیم اصلی بارش عمدتاً زمستانه است (Khalili et al, 2016; Merianji, 2012). این در حالی است که تنها ۱۷/۳ درصد بارش در فصل پاییز رخ می‌دهد. قابل توجه است که با مقایسه متوسط میانگین فصلی سیر افزایشی در بارش فصل پاییز و سیر کاهشی در سهم بارش دریافتی در فصول زمستان و بهار در کشور مشاهده می‌شود. کاهش بارش بهار در کشور با نتایج طاهریان‌زاد (Taherianzad, 2017)



شکل ۱۱: سری‌زمانی میانگین بارش فصلی (میلی‌متر) و روند خطی (معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪) براساس پایگاه داده ERA5. از بالا به پایین پاییز، زمستان، بهار و تابستان. تغییرات افزایشی و کاهشی در تمام فصول معنی‌دار بوده است.

ناهنجاری منفی بارش سهم کاهش بارش در فصول مختلف متفاوت بوده است، این تفاوت در توزیع فصلی بارش در سال‌های فوق می‌تواند اثرات خشکسالی را مخصوصاً در بحث کشاورزی شدت بخشیده باشد که قابل بررسی است.

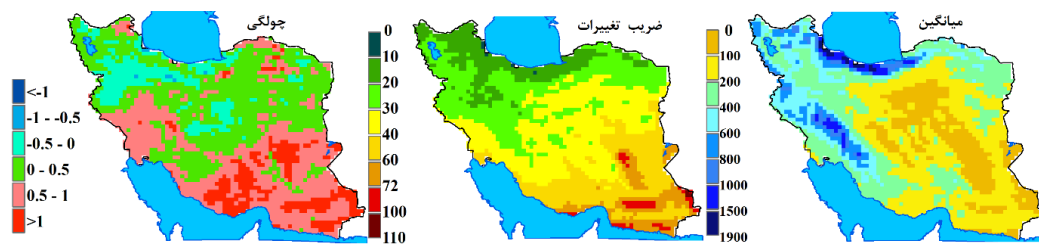
وقوع ناهنجاری منفی بارش و خشکسالی در سال‌های میانی و پایانی دوره مورد مطالعه تأثیر مشهودی را در سیر کاهشی بارش کشور در این دوره رقم زده است. آنچه اهمیت بیشتری برای توجه می‌طلبد این است که در سال‌های با

پژوهش مسعودیان (Masoudian, 2003) و بذاق جمالی و همکاران (Badagh Jamali et al, 2019) که از نظر توزیع مکانی، ایران را دارای دو الگوی اصلی بارشی (در امتداد دریای خزر و بر روی ناهمواری‌های زاگرس) دانسته‌اند، تأییدی بر این امر می‌باشد. نکته حائز اهمیت این که با پیشروی از سمت شمال، شمال‌غرب و غرب کشور به سمت بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوبی، از میانگین بارش سالانه ایران به واسطه عدم دسترسی به منبع رطوبتی نیز کاسته می‌شود. بارش سالانه در ایران از ضریب پراکندگی بالایی برخوردار بوده که در نقاط مختلف کشور با هم تفاوت چشم‌گیری دارد. به طوری که بیشترین ضریب تغییرپذیری مربوط به نواحی مرکزی، جنوب و جنوب‌شرق کشور و کم‌ترین آن در شمال و پهنه‌های غربی و شمال‌غربی کشور می‌باشد (شکل ۱۲). در مجموع میزان بسیار کم میانگین بارش سالانه علاوه بر توزیع ناهمگن مکانی آن، دارای نوسانات شدید زمانی نیز هست. بنابراین این توزیع ناهمگن زمانی و مکانی در ایران متأثر از توزیع سامانه‌های گردش جهانی است که کمترین تغییر در الگوی آن، ناهنجاری‌های شدید آب‌وهوایی را به دنبال می‌آورد. مقادیر ضریب چولگی در نواحی جنوب‌شرق، شرق و جنوب مثبت می‌باشد و این نواحی بعضاً چولگی مثبت شدید داشته و در مناطق جنوب‌غرب نیز چولگی متوسط مثبت دیده می‌شود. یعنی در این نواحی بارش‌های کمتر از میانگین بیش‌تر از بارش‌های بالاتر از میانگین هستند. این درحالی است که در بخش‌های زیادی از کشور متوسط بارش سالانه توزیعی نزدیک به نرمال داشته است.

به عنوان مثال در دو سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ خشکسالی رخ داده است، در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ فصلی بارش متعادل‌تر از ۲۰۰۷-۲۰۰۸ است، در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ کمترین بارش زمستانه دوره و در سال ۲۰۰۸-۲۰۰۷ کمترین بارش بهار دوره رخ داده است که قطعاً اثرات خشکسالی در این دو سال نمی‌تواند یکی باشد (شکل ۱۱).

آماره‌های سالانه بارش

میانگین بارش‌های سالانه ایران نسبت به میانگین بارش جهانی اندک می‌باشد، اما همین بارش کم دارای نوسانات شدید رگباری و کوتاه بودن تداوم بارش‌ها می‌باشد (Nazaripour, 2011). بیشترین میانگین بارش سالانه همانند مقیاس ماهانه و فصلی در سواحل و کرانه‌های غربی دریای خزر و رشته‌کوه‌های زاگرس و پس از آن در پس کرانه‌های غربی و کرانه‌های جنوبی خزر و کمترین میانگین بارش عمدتاً در بخش‌های مرکزی و شرقی و جنوب‌شرقی کشور مشاهده می‌شود. این الگوی توزیع بارش که حاصل استفاده از داده بازتحلیل ERA5 می‌باشد با الگوهای توزیع بارش کشور در کار فلاح قالهری و همکاران (Fallah Ghalhari et al, 2016) که حاصل استفاده از پایگاه داده آفرودیت بوده و نیز الگوی توزیع بارش ارائه شده در کار سبزی‌پور و همکاران (Sabziparvar et al, 2015) که از داده‌های اسفزاری بهره برده‌اند مشابه می‌باشد. این امر تأییدی بر کارایی داده‌های فوق می‌باشد، تفاوت در مقادیر متوسط نه تنها به نوع داده برمی‌گردد که به علت تفاوت در دوره‌های زمانی استفاده شده در هر مطالعه است. نتایج



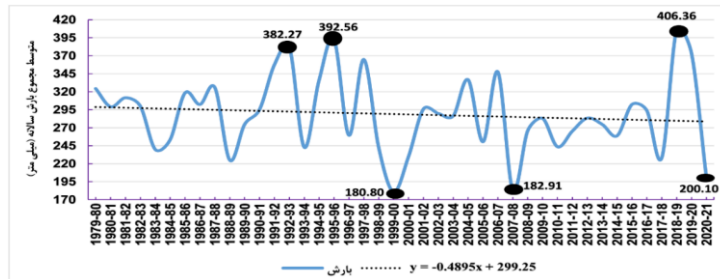
شکل ۱۲: توزیع فضایی، میانگین، ضریب تغییرات و چولگی بارش سالانه ایران در دوره مورد مطالعه (۱۹۷۹-۲۰۲۱) براساس پایگاه داده ERA5

۴۲ سال در مجموع بارش سالانه کشور دیده می‌شود. سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۹ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ کمترین دریافت بارش در کشور رخ داده است. این سال‌ها در واقع همان سال‌هایی است که خاورمیانه درگیر خشکسالی‌های خیلی

همچنین بررسی سری زمانی ۴۲ ساله بارش ایران نوسانات دریافت بارش در پهنه کشور در سال‌های مختلف را روشن نمود. مطابق نمودار سری زمانی (شکل ۱۳) و روند ترسیمی، تغییرات کاهشی معنادار معادل ۲۰/۵ میلی‌متر در

زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱ متوسط بارش سالانه کشور حدود ۲۸۵ میلی‌متر بوده است. این مقدار در سال‌های خشک به کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و در سال‌های تر به بیش از ۳۵۰ میلی‌متر رسیده است.

شدید بوده است (Barlow et al, 2016). سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۵، ۱۹۹۳-۲۰۱۹، ۲۰۱۸-۲۰۲۰ و ۲۰۱۹-۲۰۲۰ بیشترین متوسط مجموع بارش سالانه در کشور رخ داده است. محاسبه متوسط بلندمدت بارش سالانه نشان داد که براساس پایگاه داده مورد استفاده در این مطالعه در دوره



شکل ۱۳: سری زمانی میانگین مجموع بارش سالانه (میلی‌متر) در ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱) براساس پایگاه داده ERA5.

نتیجه‌گیری

مقایسه سری زمانی بارش ماهانه در پایگاه داده بازتحلیل ERA5 نسبت به بارش اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های همدید، نشان از الگوی مشابه این نوع داده در طولانی مدت داشت تنها در برخی ایستگاه‌ها در برخی ماه‌ها بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مشهود بود که چشمگیرترین آن‌ها در ایستگاه‌های پربارش کرانه خزر بود. بررسی ضریب همبستگی نشان داد در ماه‌های اکتبر تا می، بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی همبستگی بالای ۰/۵ را بین دو داده مورد مقایسه داشته‌اند. مقادیر ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) حاکی از توافق عالی بین دو داده در ماه‌های مختلف در بیشتر ایستگاه‌ها داشت. شاخص توافق ویلموت نیز در اکتبر تا آوریل کارایی بالای مدل را در برآورد بارش نشان داد، به‌گونه‌ای که در سطح کشور در این ماه‌ها در بیش از ۹۵ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقدار این شاخص بیش از ۰/۵ بود. شاخص ارزیابی استاندارد بیشترین درصد کم‌برآوردی را در ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر و جولای و بیشترین میزان بیش‌برآوردی را در ماه‌های فوریه، آوریل، ژانویه و ژوئن نشان داد. نتایج مربوط به دقت بالای این پایگاه داده در تخمین بارش که در مطالعه حاضر حاصل آمد با مطالعات انجام شده در سایر مناطق جهان همسو و مطابق می‌باشد (Jiang, 2021; Rakhmatova et al, 2021). با استفاده از داده‌های پایگاه داده بازتحلیل ERA5 آماره‌های بارش ایران در مقیاس‌های زمانی مختلف

استخراج گردید. بارش با آغاز دوره سرد از سپتامبر در کشور شروع می‌شود و تا می به طول می‌انجامد، که اوج میانگین بارش در مناطق سواحل دریای خزر و سپس در نواحی رشته‌کوه‌های زاگرس دریافت می‌شود که با نتایج مطالعات پیشین این حوضه از جمله کریمی و حیدری (Karimi and Heidari, 2022) و ثقفی و همکاران (Thaghafi et al, 2022) همسو است. سهم بارش زمستانه کشور ۴۴/۵ درصد کل بارش سال است، به عبارتی رژیم اصلی بارش عمدتاً زمستانه است و این یافته نیز هم‌راستا با نتایج مریانجی (Merianji, 2012) و خلیلی و همکاران (Khalili et al, 2016) بوده است. البته برخی از محققین رژیم بارش ایران را علاوه بر زمستان، مربوط به فصل بهار و بعضاً پاییز دانسته‌اند (Dostkamian et al, 2020). دامنه ضریب تغییرات بارش ماهانه کمتر از ۲۰ درصد از دسامبر تا مارس در شمال‌غرب، شمال و غرب کشور به بیش از ۴۵۰ درصد در جولای تا سپتامبر در جنوب، جنوب‌شرق می‌رسد. مرطوب‌ترین ماه در کشور، ماه مارس و کم‌بارش‌ترین ماه آن، ماه آگوست می‌باشد که مطابق با یافته‌های حلبیان (Halabian, 2016) و هادی‌پور و همکاران (HadiPour et al, 2020) می‌باشد. واکاوی سری زمانی متوسط بارش ماهانه در کشور حاکی از رخداد سیر کاهشی در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و سیر افزایشی متوسط بارش در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و آوریل دارد. بررسی توزیع فضایی درصد بارش دریافتی فصلی در سطح کشور نشان داد که بخش‌های مرکزی، شرقی، جنوبی و حتی جنوب‌غرب کشور بیشترین

چرا که از سهم بارش بهاره (۸/۲ میلی‌متر کاهش در ۴۲ سال) و زمستانه (۲۸/۲۶ میلی‌متر کاهش در ۴۲ سال) کشور کاسته شده و به سهم بارش پاییزه کشور اضافه گردیده است. در فصل بهار متوسط مجموع فصل سیر کاهشی را نشان می‌دهد این سیر کاهشی در ماه‌های مارس و می دیده می‌شود در حالی که ماه آوریل سیر افزایشی را داشته است به عبارتی تمرکز بارش بهاره به سمت رخ داد در ماه آوریل پیش رفته است و در یک نگاه کلی تغییر در توزیع بارش بهاره مشهود می‌باشد، وجود تغییرات کاهشی در بارش ماه مارس در فصل بهار با نتایج مطالعه کرم‌پور و همکاران (Karampour et al, 2018) مطابق می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده‌اند.

درصد بارش سالانه خود را در فصل زمستان دریافت می‌کنند، این در حالی است که کرانه‌های غربی دریای خزر و شمال‌غرب کشور در این فصل کمترین درصد بارش سالانه خود را دارند. بیشینه دریافت بارش کرانه‌های خزر در فصل پاییز همسو با نتایج مطالعه خورشیددوست و جعفرزاده (Khurshiddoost and Jafarzadeh, 2019) و نیز بیشینه دریافت بارش شمال‌شرق در فصل بهار در انطباق با یافته‌های دوستکامیان و همکاران (Dostkamian et al, 2020) می‌باشد. نتایج بررسی مقادیر چولگی بارش نشان دهنده توزیع نزدیک به نرمال متوسط سالانه بارش در بیشتر نقاط کشور می‌باشد. روند کاهشی معنادار در متوسط بارش فصل بهار و زمستان در نتایج قابل توجه می‌باشد. از طرفی روند افزایشی معنادار در بارش فصل پاییز (۱۷/۵ میلی‌متر در ۴۲ سال) مشاهده شده که با نتایج کریمی و همکاران (Karimi et al, 2021) همسو می‌باشد. نتایج تا حدودی بیانگر تغییر تدریجی رژیم بارش کشور می‌باشد،

پانویس

- 1-Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation
- 2-Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration towards Evaluation
- 3-Global Precipitation Climatology Centre
- 4-Tropical Rainfall Measuring Mission

- 5-Climatic Research Unit
- 6-Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
- 7-Climate Data Store
- 8-Copernicus Climate Change Service

References

- Journal of Climatology, v. 37(14), p. 4896-4914.
- Ahmadi, M., Fathniya, A. and Abkharabat, S., 2015. Trend analysis of Iran's precipitation and its relation to the teleconnection forces, *Journal of Climate Research*, v. 1394(23), p.19-32 (in Persian).
- Alijani, B., O'Brien, J. and Yarnal, B., 2008. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran, *Theor Appl Climatol*, v. 94, p. 107-124.
- Alijani, B., Mofidi, A., Jafarpour, Z. and Aliakbari-Bidokhti, A., 2012. Atmospheric circulation patterns of the summertime rainfalls of southeastern Iran during July 1994, *Earth and Space physics*, v. 37(3), p. 205-227 (in Persian).
- Alijanian, M., Rakhshandehroo, G.R., Mishra, A.K. and Dehghani, M., 2017. Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran, *International*
- Ansari Basir, A., 2007. evaluation of seasonal rainfall regime in Iran using the harmony method, master's thesis, Supervisors: Seyfaleh Amin and Mohammad Reza Pishwaie, Faculty of Agriculture, Shiraz University (in Persian).
- Arabi, Z., 2006. Synoptic analysis of rainfall from 12 to 17 July 1999 in Iran, *Geographical Researches*, v. 56, p. 1-15 (in Persian).
- Asakereh, H. and Razmi, R., 2014. Temporal Distribution and Regime of Precipitation of Northwest of Iran. *Geographical Research*, v. 29(1) p. 25-41 (in Persian).
- Asakereh, H. and Ghandali, N.V., 2021. Changes of precipitation regime of the Iranian Coast of Caspian Sea (ICCS), *Geography and Development*, v. 19(64), p. 115-142 (in Persian).
- Asakereh, H. and Razmi, R., 2011. Change of Precipitation regime in northwest Iran,

- Climatology Research, v. 8-7, p. 114-99 (in Persian).
- Asakereh, H., 2007. Spatio-temporal changes of Iran inland precipitation during recent decades, *Geography and Development*, v. 5(10), p. 145-164 (in Persian).
- Asakereh, H., 2011. *Fundamentals of Statistical Climatology*, Zanjan University Publications (in Persian).
- Asakereh, H., Nasrabadi, E. and Masoodian, S.A., 2014. Recognition and regionalization of daily precipitation frequency distribution in Iran. *Geographical Researches*, v. 29(3), p. 1-16 (in Persian).
- Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A. and Bakhtar, A., 2021. Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, v. 51(11), p. 2937-2951 (in Persian).
- Babaei Fini, A.A. and Farajzadeh, M., 2003. Spatial indexes of precipitation and its changes in Iran, the third regional conference and the first national conference on climate change, Isfahan, 29 October to 1 November (in Persian).
- Barati, G., Alijani, B. and Moradi, M., 2024. Zoning and analysis of pervasive rainfall in rainy areas of Iran in the statistical period of 30 years (1987-1987). *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, v. 23(71), p. 103-121 (in Persian).
- Barlow, M., Zaitchik, B., Paz, S., Black, E., Evans, J. and Hoell, A., 2016. A Review of Drought in the Middle East and Southwest Asia. *Journal of Climate*, v. 29, p. 8547-8574, doi:10.1175/JCLI-D-13-00692.1.
- Bodghjamali, J., Javanmard, S. and Tajbakhsh, S., 2020. The estimation of type and amount rainfall using TMI Sensor of TRMM Satellite, *Journal of Climate Research*, v. 1398(37), p. 38-56 (in Persian).
- Collins, B., Ramezani Etedali, H., Tavakol, A. and Kaviani, A., 2021. Spatiotemporal variations of evapotranspiration and reference crop water requirement over 1957–2016 in Iran based on CRU TS gridded dataset, *Journal of Arid Land*, v. 13, p. 858-878.
- Darand, M. and Zande Karimi, S., 2015. Evaluation of Spatio-Temporal Accuracy of Precipitation of European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) over Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, v. 47(4), p. 651-675 (in Persian).
- Darand, M. & Khandu, K., 2020. Statistical evaluation of gridded precipitation datasets using rain gauge observations over Iran, *Journal of Arid Environments*, v. 178, Doi: 10.1016/j.jaridenv.2020.104172.
- Darand, M. and Pazhoh, F., 2022. Spatiotemporal changes in precipitation concentration over Iran during 1962–2019. *Climatic Change*, v. 173(3-4), Doi: 10.1007/s00704-020-03192-6.
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P. et al, 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v. 137, p. 553-597.
- Doustkamian, M., Asakereh, H. and Darand, M., 2021. Investigation and analysis of turbulence and fluctuations of rainfall regions of Iran. *jgs 2021*; 21 (60), p. 127-149 (in Persian).
- Erfani, A., Babaeian, I. and Entezari, A., 2020. ERA-Interim. *Journal of Climate Research*, v. 1398(38), p. 77-92 (in Persian).
- Fallah Ghalhari, G.A., Dadashi Roudbari, A.A. and Asadi, M., 2016. Identifying the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Iran, *Arab J Geosci*, v. 9, p. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2606-4>.
- Fallah, A., Rakhshandehroo, G.R., Berg, P.O.S. and Orth, R., 2020. Evaluation of precipitation datasets against local observations in southwestern Iran. *International Journal of Climatology*, v. 40(9), p. 4102-4116.
- Ghebreyesus, D. and Sharif, H.O., 2021. Time Series Analysis of Monthly and Annual Precipitation in The State of Texas Using High-Resolution Radar Products. *Water*, v. 13(7), <https://doi.org/10.3390/w13070982>.
- Gorjizade, A., AkhondAli, A., Shahbazi, A. and Moridi, A., 2019. Comparison and evaluation of precipitation estimated by era-interim, persiann-cdr and chirps models at the upstream of maroon dam. *Iran-Water Resources Research*, v. 15(1), p. 267-279 (in Persian).

- HadiPour, S., Abd Wahab, A.K. and Shahid, S., 2020. Spatiotemporal changes in aridity and the shift of drylands in Iran. *Atmospheric Research*, v. 233, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104704>.
- Halabian, A.H., 2017. Assesment of spatial-temporal changes of precipitation in Iran, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, v. 5(13), p. 101-116 (in Persian).
- Hassler, B. and Lauer, A., 2021. Comparison of reanalysis and observational precipitation datasets including ERA5 and WFDE5. *Atmosphere*, v. 12(11), <https://doi.org/10.3390/atmos12111462>.
- Hersbach, H. and Dee, D., 2016. ERA5 reanalysis is in production, ECMWF Newsletter, 147. Reading, UK: ECMWF.
- Izadi, N., Karakani, E.G., Saadatabadi, A.R., Shamsipour, A., Fattahi, E. and Habibi, M., 2021. Evaluation of ERA5 precipitation accuracy based on various time scales over Iran during 2000–2018. *Water*, v. 13(18), <https://doi.org/10.3390/w13182538>.
- Jiang, Q.C., 2021. Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland. *J. Hydrol*, v. 595, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125660>.
- Jiang, Q., Li, W., Fan, Z., He, X., Sun, W., Chen, S., Wen, J., Gao, J. and Wang, J., 2021. Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland, *Journal of Hydrology*, v. 595, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125660>.
- Karampoor, M., ZareiCheghabaleki, Z., Halimi, M. and Nouroozi Mirza, M., 2018. Study of Iran's monthly and annual Rainfall variations in different classes. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, v. 27(105), p. 199-217 (in Persian).
- Karimi, M., Heidari, S. and Rafati, S., 2021. The trend of atmospheric water cycle components (precipitation and precipitable water) in catchments of Iran, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazarts*, v. 8(2), p. 33-54 (in Persian).
- Karimi, M. and Heidari, S., 2023. Variability and trend of changes in the severity-area of drought and wet in Iran, *Journal of Natural Environmental Hazards*, v. 12(36), p. 129-150 (in Persian).
- Kaviani, M.R., 1988. statistical analysis of Iran's rainfall regime, *Roshd of geography education*, v. 13, p. 4-12 (in Persian).
- Khalili, K., Tahoudi, M.N., Mirabbasi, R. and Ahmadi, F., 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century, *Stochastic environmental research and risk assessment*, v. 30, p. 1205-1221.
- Khorshiddoust, A.M. and Jafarzadeh, F., 2020. Forecasting and analyzing of rainfall changes in the southern coasts of Caspian Sea in order to environmental planning using SDSM model, *Journal of geographical-space*, v. 20(70), p. 37-59 (in Persian).
- Kumar, V., Jain, S.K. and Singh, Y., 2010. Analysis of long-term rainfall trends in India, *Hydrological Sci. J.*, v. 55, p. 484-496.
- Mahmoudvand, R., Hassani, H. and Wilson, R., 2007. Is the sample coefficient of variation a good estimator for the population coefficient of variation?" *world Applied Sciences Journal*, v. 2(5), p. 519-522.
- Masoudiyan, S.A., 2003. Investigation of precipitation geographical dispersion in Iran through rotated factor analysis, *Geography and Development*, v. 1(1), p. 79-87 (in Persian).
- Masoudian, S.A. and Kaviani, M.R., 2007. *Climatology of Iran*, University of Isfahan, Isfahan.
- Masoudian, S.A. and Atai, H., 2005. Identification of Iran's rainy seasons by cluster analysis, *Isfahan University Research Journal*, v. 18(1), p. 1-12 (in Persian).
- Merianji, Z., 2012. Variability of the rainfall regime in Iran, PhD thesis, Supervisors: Saeid Movahedi, Hossein Asakereh, and Ali Akbar Sabziparvar, Faculty of Geography, University of Isfahan (in Persian).
- Mirian, M., Karampoor, M., Moradi, M., Ghemi, H. and Nasiri, B., 2023. Statistical and anomalies analysis of the 50-year precipitation of the synoptic stations in Iran (in Persian).
- Moghabel, M., Davoodi, M., Nistani, A. and Taghavi, F., 2011. Identifying the Changes in Precipitation Regime over Iran during Recent Decades. *Nivar*, v. 35(73-72), p. 55-66 (in Persian).
- Najafi, M.S. and Akbari Moghadam Sani, S., 2022. Evaluation the performance of three

- gridded datasets in estimating the time series of extreme precipitation in Iran. *Climate Change Research*, v. 3(11), p. 79-98 (in Persian).
- Nazaripour, H., 2011. Synoptic analysis of Iran's rainfall continuity, PhD thesis, Supervisors: Mahmoud Khosravi and Abolfazl Masoudian, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchistan (in Persian).
- Rakhmatova, N., Arushanov, M., Shardakova, L., Nishonov, B., Taryannikova, R., Rakhmatova, V. and Belikov, D.A., 2021. Evaluation of the perspective of ERA-Interim and ERA5 reanalyses for calculation of drought indicators for Uzbekistan, *Atmosphere*, v. 12(5), <https://doi.org/10.3390/atmos12050527>.
- Raziei, T. and Azizi, G.H.A.S.E.M., 2009. Delineation of homogeneous precipitation regions in Western Iran, *Journal of Geography and Environmental Planning*, v. 20(2), p. 65-86 (in Persian).
- Raziei, T. and Azizi, GH., 2007. Spatial changes in rainfall frequency distribution patterns in Iran, *Physical Geography Research*, v. 65, p. 93-108 (in Persian).
- Raziei, T. and Sotoudeh, F., 2017. Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the earth and space physics*, v. 43(1), p. 133-147 (in Persian).
- Razmi, R., 2010. Changing the rainfall regime of Azarbaijan in Iran, Master's thesis, Supervisors: Hossein Asakereh, Faculty of Humanities, Zanjan University (in Persian).
- Rezaei, M., Azhdary Moghaddam, M.E.H.D.I., Azizyan, G. and Shamsipur, A.A., 2023. Assessment of precipitation obtained from gridded data bases in southern Baluchestan basin. *Environment and Water Engineering*, v. 9(1) (in Persian).
- Sabziparvar, A.A., Movahedi, S., Asakereh, H., Maryanaji, Z. and Masoodian, S.A., 2015. Geographical factors affecting variability of precipitation regime in Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, v. 120, p. 367-376.
- Taghizadeh, E., Ahmadi-Givi, F., Brocca, L. and Sharifi, E., 2021. Evaluation of satellite/reanalysis precipitation products over Iran, *International Journal of remote sensing*, v. 42(9), p. 3474-3497.
- Taherianzad, A., 2017. Investigating and analyzing the nature and structure of atmospheric changes in Iran's spring rains, master's thesis, Supervisors: Masoud Jalali, Faculty of Humanities, Zanjan University (in Persian).
- Trenberth, K.E., 2011. Changes in precipitation with climate change. *Clim. Res.*, v. 47, p. 123-138.
- Wang, G., Zhang, X. and Zhang, S., 2019. Performance of three reanalysis precipitation datasets over the qinling-daba Mountains, eastern fringe of Tibetan plateau, China. *Advances in Meteorology*.
- Zhao, X., Xia, H., Pan, L., Song, H., Niu, W., Wang, R. et al, 2021. Drought monitoring over Yellow River basin from 2003–2019 using reconstructed MODIS land surface temperature in Google Earth Engine. *Remote Sens.*, v. 13, <https://doi.org/10.3390/rs13183748>